

Aus dem
Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg in
Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann
Abteilung für Zahnerhaltung
Direktor: Prof. Dr. V. Stachniss

**Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti
FlexMaster® und MFile® Instrumenten,
eine Vergleichsstudie**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Medizin der
Philipps-Universität Marburg

vorgelegt

von
Nikolaus von Abendroth
aus Gifhorn

Marburg 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am:

23.10.2008

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund

Referent: Prof. Dr. V. Stachniss

Korreferent: Prof. Dr. M. Gente

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Literatur	2
2.1. Erfolgswahrscheinlichkeit von Wurzelkanalbehandlungen	2
2.2. Die Entwicklung von Aufbereitungsinstrumenten	3
2.3. Die Wurzelkanalaufbereitung	5
2.3.1. Ziele der Aufbereitung	5
2.3.2. Verfahren zur Beurteilung der Kanalaufbereitung	6
2.3.3. Aufbereitungsfehler bei gekrümmten Kanalverläufen	7
2.4. Nickel-Titan-Legierungen für Aufbereitungsinstrumente	10
2.4.1. Entwicklung	10
2.4.2. Physikalische Eigenschaften	10
2.4.3. Korrosionsverhalten	12
2.4.4. Frakturanfälligkeit	12
2.5. Geometrie von Nickel-Titan Instrumenten	13
2.6. Statistische Verfahren	14
3. Zielsetzung	16
4. Material und Methode	17
4.1. Versuchsdesign	17
4.2. Instrumente zur Kanalaufbereitung	18
4.3. Vorbehandlung der künstlichen Wurzelkanäle	26
4.4. Bilddokumentation von Größe und Form der künstlichen Wurzelkanäle	27
4.5. Randomisierung	28
4.6. Aufbereitung der artifiziellen Wurzelkanäle	29
4.6.1. Aufbereitung mit MFile-Instrumenten	29
4.6.2. Aufbereitung mit FlexMaster-Instrumenten	30
4.7. Zeitmessung der Aufbereitung	31
4.8. Auswertung der Feilenfrakturen und -aufwindungen	31
4.9. Bilddokumentation der aufbereiteten Wurzelkanäle	31

4.10.	Beurteilung der Kanalmorphologie	32
4.11.	Bildüberlagerungen am PC	32
4.12.	Beurteilung der Transportation	33
4.13.	Beurteilung der Aufbereitungslängen	34
4.14.	Statistische Auswertung	35
5.	Ergebnisse	36
5.1.	Aufbereitungszeit	36
5.2.	Erfassung der Instrumentenfrakturen	37
5.3.	Untersuchung der Feilen auf Torsionsspuren	39
5.4.	Evaluation der aufbereiteten Kanäle	42
5.4.1.	Veränderungen der Kanalmorphologie mit Artefakten und Untersuchung der Transportation	42
5.4.2.	Abhängigkeit der Transportation von der Aufbereitungszeit	45
5.4.3.	Auswertung der Aufbereitungslänge	45
6.	Diskussion	47
6.1.	Material und Methode	47
6.1.1.	Auswahl der Aufbereitungsinstrumente	47
6.1.2.	Auswahl des Studienmodells	48
6.1.3.	Randomisierung	49
6.1.4.	Aufbereitung mit MFile-Instrumenten	49
6.1.5.	Aufbereitung mit FlexMaster-Instrumenten	50
6.1.6.	Zeitmessung	51
6.1.7.	Auswertungen	51
6.1.7.1.	Auswertung der Instrumentenfrakturen und -aufwindungen	51
6.1.7.2.	Beurteilung der Kanalmorphologie	52
6.1.7.3.	Beurteilung der Transportation	53
6.1.7.4.	Beurteilung der Aufbereitungslänge	54
6.2.	Ergebnisse	55
6.2.1.	Vergleich der Aufbereitungsergebnisse zwischen den MFile- und FlexMaster-Instrumenten	55
6.2.1.1.	Aufbereitungszeit	55

6.2.1.2. Instrumentenfrakturen	56
6.2.1.3. Torsionsspuren an den Feilen	58
6.2.1.4. Kanalmorphologie	59
6.2.1.5. Transportation der Kanäle	59
6.2.1.6. Aufbereitungslänge	60
6.3. Schlussfolgerung	61
7. Zusammenfassung	62
7.1. Zusammenfassung (Rigorosum)	62
7.2. Abstract	66
7.2.1. Englische Version	66
7.2.2. Deutsche Version	67
8. Literaturverzeichnis	68
9. Anhang	83
9.1. Materialliste	83
9.2. Herstellerangaben zum FlexMaster-System (Auszug)	85
9.3. Herstellerangaben zum MFile-System (Auszug)	94
9.4. Tabellen	103
9.5. Erklärung zur Veröffentlichung der Ergebnisse	108
10. Danksagung	109
11. Akademische Lehrer	110

1. Einleitung und Problemstellung

Die wichtigen Ziele einer Wurzelkanalaufbereitung liegen in der Entfernung von Pulpagewebe, der Eliminierung von Mikroorganismen, der Entfernung von Debris und der Formgebung der Wurzelkanäle, die eine Reinigung und Füllung der Kanalsysteme ermöglichen.

Ziel der Formgebung ist ein konischer Kanalverlauf mit einer Verjüngung von koronal nach apikal. Der erweiterte Kanal sollte den ursprünglichen Kanalverlauf beinhalten. Das apikale Foramen soll möglichst unversehrt bleiben.

Für die Wurzelkanalaufbereitung stehen manuelle und maschinelle Instrumente zur Verfügung. Manuelle wie auch maschinelle Aufbereitungsinstrumente werden heute auch aus Nickel-Titan-Legierungen hergestellt. Diese stellen eine Alternative zu den noch überwiegend angewendeten manuellen Wurzelkanalinstrumenten aus Edelstahl dar. Schon Anfang des letzten Jahrhunderts entwickelte *Rollins* ein Verfahren, bei dem er Instrumente rotierend mit 100 U/min zur Kanalaufbereitung einsetzte. Aufgrund der mangelnden Flexibilität des damals verwendeten Edelstahls und den daraus resultierenden Problemen konnte sich die maschinelle Aufbereitung lange Zeit nicht durchsetzen. Mit der Einführung der Nickel-Titan-Legierungen konnte eine Verbesserung der Aufbereitungsergebnisse gegenüber den aus Edelstahl gefertigten maschinellen Instrumenten erreicht werden. Studien zeigen übereinstimmend, dass die mit maschinellen Wurzelkanalinstrumenten aufbereiteten Wurzelkanäle weniger Aufbereitungsfehler aufweisen, als die mit manuellen Instrumenten bearbeiteten Kanäle. Die Anwendung von rotierenden Instrumenten verspricht zudem eine Zeitersparnis beim Aufbereitungsvorgang.

Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich zum Teil deutlich in ihren Aufbereitungsergebnissen. Es soll mit dieser Studie ein Beitrag zur ergebnisorientierten Evaluation zweier Aufbereitungssysteme geleistet werden.

2. Literatur

2.1. Erfolgswahrscheinlichkeit von Wurzelkanalbehandlungen

Von der *European Society of Endodontology* werden Kriterien für einen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung beschrieben. Nach spätestens einem Jahr sprechen folgende Befunde für ein günstiges Ergebnis [75]:

- „• keine Schmerzen
- keine Schwellung und andere Symptome
- kein Fistelgang
- kein Furkationsverlust und
- der röntgenologische Nachweis eines normalen Wurzelhautspalts.“

Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist von multiplen Faktoren abhängig:

- dem Ausmaß, in wie fern die Entzündung selbst beseitigt werden kann [98],
- der Anwendung von bakteriziden Spüllösungen [22, 95, 33],
- der Präparationstechnik und dem Wurzelfüllmaterial [33, 30],
- dem Aufbereitungsdurchmesser [12],
- der Länge der Wurzelfüllung in Relation zum Apex [41, 50, 62, 97, 77],
- dem Vorhandensein von periradikulären Aufhellungen [50, 62],
- der Dichte der Wurzelfüllung [41, 50].

Das Ergebnis der endodontischen Behandlung wird durch weitere Faktoren, wie parodontale Läsionen [62, 30], die einer Wurzelkanalbehandlung nachfolgende Restauration [97, 77] oder die Anzahl der Sitzungen beeinflusst [96, 14].

Friedman et al. konnten bei 78% der Wurzelkanalaufbereitungen eine erfolgreiche Behandlung nachweisen [32]. Von *Benenati* und *Khajotia* wird die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Wurzelkanalbehandlung mit 91% angegeben [8]. *Lazarski et al.* stellten Erfolge nach 3,5 Jahren bei 94% der Behandlungen fest [52]. Weitere Autoren geben an, dass mindestens 75 - 80% der Zähne erfolgreich therapiert werden konnten [50]. Die „Toronto-Studie“ von *Friedman* zur Auswertung von Wurzelkanalbehandlungen

beurteilte behandelte Zähne nach 4 bis 6 Jahren. Phase I bestätigte insgesamt 81% der Behandlungen einen Erfolg. Der Behandlungserfolg bei Zähnen ohne apikale Parodontitis lag bei 92%, bei Zähnen mit apikaler Parodontitis lag der Erfolg bei 74% [34]. Die Fortführung der Studie konnte ähnliche Ergebnisse in den darauf folgenden Jahren erzielen. In Phase II lag der Behandlungserfolg bei 85% der behandelten Zähne. Die Studie bestätigte, dass vor Behandlung bestehende apikale Parodontitis den Behandlungserfolg signifikant reduzierte. Auch die Behandlungstechnik wirkte sich signifikant auf den Erfolg aus. Flared Präparation und vertikale Kondensation ergaben in 90% der behandelten Zähne Erfolg, Step-back-Technik und laterale Kondensation ergaben in 80% erfolgreiche Ergebnisse [30]. In Phase III und Phase IV wurden die Ergebnisse bestätigt [61, 25]. *De Chevigny et al.* beobachteten zudem, dass an wurzelbehandelten Zähne, die nur eine Wurzel hatten, präoperativ ohne röntgenologische Aufhellung waren und ohne Komplikationen bearbeitet wurden, die besten Behandlungsergebnisse erzielt werden konnten [25].

2.2. Die Entwicklung von Aufbereitungsinstrumenten

Fauchard, einer der Begründer der modernen Zahnmedizin, führte in seinem Werk „Le chirurgien dentiste“ bereits 1728 Instrumente zur Trepanation von Zähnen, zur Aufbereitung der Wurzelkanäle und zum Kauterisieren auf [21, 43, 48]. Zu seiner Zeit existierte kein vergleichbares Werk, das eine systematische Beschreibung der Wurzelkanalbehandlung beinhaltete [48]. Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts gab es nur wenige dünne und flexible Instrumente ohne definiertes Design für die eigentliche Wurzelkanalaufbereitung [16, 55].

Delmond versuchte 1824 als erster, pulpaes Gewebe mit Instrumenten vollständig zu entfernen [43]. *Maynard* wird 1838 das erste Aufbereitungsinstrument zugeschrieben, das er durch die Bearbeitung einer Uhrfeder herstellte [2, 43]. Auch andere Zahnärzte wie *Arthur*, *Maury*, *Harris* oder *Barre* entwickelten im 19. Jahrhundert Exstirpationsnadeln [42]. *Taft* und *Tomes* entwickelten 1859 Instrumente zur Kanalerweiterung [43]. *Tomes*

benutzte für die Erweiterung feine, spiralförmige Ahlen (Michel 1993). *Mills* und *Richmond* verwendeten Ende des 19. Jahrhunderts Holzstäbchen zur Pulpaexstirpation [39, 19, 65].

Gates-Glidden-Bohrer zur Kanaleingangserweiterung wurden 1885 vorgestellt [43]. *Matthew M. Kerr* entwickelte 1915 die K-Feile [49]. 1927 folgte die Hedström-Feile. Obwohl *Trebitsch* 1929 eine Standardisierung von Instrumenten postulierte und *Ingle* 1958 dies erneut forderte, wurden ISO-Größen erst 1974 definiert [43].

Oltramare stellte bereits 1892 die ersten maschinell angetriebenen Wurzelkanalinstrumente vor. Bei Betätigen eines Pedals sollte sich das Pulpengewebe des Wurzelkanals um feine rotierende Vierkant-Stahlstäbchen wickeln. Die Stahlstäbchen sollten nach Gebrauch abgezwickt und erneut zugespitzt werden [43].

Rollins präsentierte 1889 das erste Endodontie-Winkelstück, das mechanisch angetrieben wurde. Um Instrumentenfrakturen zu vermeiden, war die Geschwindigkeit auf 100 U_{min} begrenzt [65]. In den folgenden Jahren wurden weitere rotierende Systeme ähnlicher Systematik entwickelt und auf dem Dentalmarkt angeboten [48].

1928 wurde von der Firma W&H (Bürmoos, Österreich) das Cursor-Feilwinkelstück entwickelt, welches sowohl rotierende als auch vertikale Bewegungen der Feile ermöglichte. Schließlich fanden maschinelle Aufbereitungssysteme in Europa mit der Präsentation des Racer-Feilkopfes (W&H) 1958 und dem Giromatic-Winkelstück (MicroMega, Besançon, Frankreich) 1964 zunehmend Verbreitung. Der Racer-Feilenkopf arbeitete mit Hubbewegungen, mit dem Giromatic-Winkelstück wurden reziproke Viertelkreisdrehungen durchgeführt. Diese Systeme arbeiteten mit limitierter, bzw. keiner Rotation [43].

1984 erzielte *Levy* die Abkehr von einem starren Bewegungsmuster mit der Präsentation des Canal-Finder-Systems. Die Eindringtiefe der Feile war sowohl von der Umdrehungsgeschwindigkeit als auch von dem Widerstand im Kanal abhängig. Mit erhöhtem Widerstand wurden nur noch Viertelkreisdrehungen erzeugt. Nachfolgende Systeme wie Excalibur,

Endoplaner, oder Canal Leader 2000 arbeiteten ebenso mit einem modifizierten Bewegungsablauf [43].

Seit der Einführung von Nickel-Titan (Ni-Ti) durch *Walia et al.* im Jahr 1988 in die Endodontie, haben Instrumente aus diesem Werkstoff an Bedeutung gewonnen [116]. Ni-Ti-Instrumente werden seitdem in rotierenden Systemen angewendet. Diese Systeme nehmen dabei Bezug auf Prinzipien, die *Rollins* schon 100 Jahre zuvor vorgestellt hatte [48].

Richman beschrieb den Gebrauch von Ultraschall-Instrumenten in der Endodontie. Besonders die Arbeit von *Martin & Cunningham* machte in den 70ern Ultraschall-betriebene Systeme beliebt für die Wurzelkanalaufbereitung. Das erste Ultraschallsystem war 1980 auf dem Markt erhältlich. 1984 folgte der erste Antrieb im Schallbereich.

Seit 1971 werden Versuche unternommen, Lasertechnik sowohl in der Präparation als auch zur Desinfektion von Wurzelkanälen zu verwenden [117].

2.3. Die Wurzelkanalaufbereitung

2.3.1. Ziele der Aufbereitung

Bei der mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanalsystems wird vitales und nekrotisiertes Gewebe sowie infiziertes Dentin entfernt. Ziel der Präparation ist die Schaffung eines Zuganges zum Kanalsystem zur Desinfektion durch Spüllösungen und zur Applikation von Medikamenten und Wurzelfüllmaterial. Folglich ist die Kanalpräparation die essentielle Phase zur Beseitigung einer Infektion [31, 48]. Die *European Society of Endodontology* legt die Ziele der Wurzelkanalaufbereitung wie folgt fest [75]:

- „• verbliebenes Pulpagewebe entfernen,
- Mikroorganismen eliminieren,
- Debris entfernen,
- den oder die Wurzelkanäle in eine Form bringen, die eine Reinigung und Füllung des Wurzelkanalsystems ermöglicht.“

Die Anforderungen an eine Wurzelkanalaufbereitung werden wie folgt definiert:

- „• Der aufbereitete Kanal sollte den ursprünglichen Kanal umschließen.
- Die apikale Konstriktion sollte erhalten bleiben.
- Der Kanal sollte in einer apikalen Verengung enden.
- Der Kanal sollte von koronal nach apikal konisch zulaufen.“

Außerdem ist darauf zu achten, dass Stufenbildung und Verblockung vermieden werden [4]. Die apikale Verengung soll bei der nachfolgenden Kondensation der Wurzelfüllung das Überstopfen von Wurzelfüllmaterial verhindern und so die Unversehrtheit des periapikalen Parodontiums gewährleisten. Die Wurzelkanalfüllung sollte am physiologischen Apex enden [64]. Klinisch bedeutet dies in der Regel, dass die Wurzelkanalfüllung im Bereich von 0-2 mm koronal des röntgenologischen Apex endet.

2.3.2. Verfahren zur Beurteilung der Kanalaufbereitung

Kunststoffmodelle eignen sich wegen der standardisierten Geometrie besonders gut zur Beurteilung der Präparationsform und zur Ermittlung des Materialabtrags. *Weine et al.* nutzten 1975 erstmalig simulierte Wurzelkanäle und empfahlen diese Methode für die zahnärztliche Ausbildung. Aufgrund der Transparenz ist eine optische Kontrolle während der Aufbereitung gegeben. Apikale Präparationsfehler wie „Zip“ und „Elbow“ oder Stufenbildung lassen sich so gut demonstrieren [120]. Um einen aufbereitungsbedingten Materialabtrag eines Kanals messen zu können, werden analoge oder digitale Aufnahmen vor und nach einem Aufbereitungsdurchgang empfohlen [27, 82]. Durch Überlagerung der Bilder kann der Materialabtrag an den bearbeiteten Stellen an Außen- und Innenkurvatur gemessen werden. *Luiten* wendete ein Messverfahren an, bei dem an beiden Seiten des originären Kanalverlaufs die durch die Aufbereitung erfolgte Erweiterung an festgelegten Messpunkten ermittelt wurde [58]. Auch in neueren Studien werden simulierte Wurzelkanäle eingesetzt [100, 90, 60]. Künstliche Wurzelkanäle bieten den

Vorteil standardisierte Bedingungen der Kanalgeometrie mit identischen Krümmungsradien, Durchmessern und Abriebeigenschaften zu erzeugen und damit eine Vergleichbarkeit von Aufbereitungsprozessen zu erzielen [107]. Verschiedene Autoren wiesen in ihren Studien nach, dass die an Kunststoffblöcken ermittelten Ergebnisse bezüglich der Formgebung auf extrahierte Zähne übertragen werden können [57, 107], obwohl Formveränderungen bei der Aufbereitung von Epoxidharz-Blöckchen ausgeprägter auftreten können als bei natürlichen Zähnen [57]. Die Reinigungswirkung kann dagegen aufgrund des Fehlens von Weichgewebe und den anatomischen Besonderheiten extrahierter Zähne (Seitenkanälchen, Dentintubuli, Buchten, etc.) nicht an Kunststoffmodellen untersucht werden. Auch die Größe der abgetragenen Späne ist unterschiedlich. Kunststoffspäne verblocken den Kanal leichter und sind schwerer aus dem Kanal zu entfernen [57]. Die Mikrohärtigkeit kann durch die Knoop Härte Zahl [KHN] angegeben werden. Die Härte von Dentin wird mit 65-71 KHN (kg/mm^2), die von Kunststoffmaterialien mit 20-22 KHN (kg/mm^2) angegeben [18, 66, 17]. Somit muss bei der Bearbeitung des natürlichen Wunddentins dreimal so viel Kraft aufgewendet werden. *Tepel* stellt nach Spülung mit Natriumhypochlorid eine Verringerung des Materialabtrages bei Kunststoff fest [108]. *Baumann* und *Roth* weisen darauf hin, dass durch die Verwendung von Plastikblöckchen eine erhöhte Frakturrate gegenüber der Aufbereitung natürlicher Zähne auftreten kann [6]. Instrumententypische Aufbereitungsfehler wie Ledge-, Zip- und Elbow-Konfigurationen lassen sich jedoch aufgrund der standardisierten Bedingungen leichter feststellen und sind bei transparenten Prüfblöckchen direkt visuell erfassbar. Auch Aufbereitungslänge, Aufbereitungszeit und die Häufigkeit von Instrumentenfrakturen können standardisiert evaluiert werden.

2.3.3. Aufbereitungsfehler bei gekrümmten Kanalverläufen

Die Wurzelkanalaufbereitung gerader Kanäle bereitet in der Regel keine Probleme. Das Aufbereiten gekrümmter Kanäle ist hingegen weitaus schwieriger. 84% der Wurzelkanäle aller Zahngruppen und 100% der Molarenkanäle weisen mindestens eine Krümmung auf [20]. Durch eine

Kanaleingangsdarstellung (Preflare) mit Gates-Glidden-Bohrern kann ein gleichmäßigerer Dentinabtrag an der Innen- und Außenkurvatur eines Kanals erreicht werden [76, 92]. Besonders im apikalen Kanaldrittel gekrümmter Kanäle weisen Instrumente aus hochflexiblen Legierungen Vorteile gegenüber Edelstahlinstrumenten auf. Einige Aufbereitungsfehler entstehen u. a. durch die Rückstellkraft der Instrumente [119, 90]. Dazu zählen folgende morphologische Veränderungen der Wurzelkanäle: Entstehung eines Elbow (Isthmus; Abb. 1), Bildung eines Zip (Trichter; Abb. 2) und die Herstellung eines Ledge (Stufe; Abb. 3) an der Außenseite des Kanals.

Des Weiteren bereiten Perforationen und Begradigungen der Wurzelkanäle Probleme. Treten Aufbereitungsfehler auf, so kann die vollständige Reinigung der apikalen Region und die abschließende Wurzelfüllung deutlich erschwert, bzw. nur noch insuffizient durchgeführt werden. Dentinspäne beinhalten frisches oder bereits nekrotisches Pulpagewebe und haften an Wurzelkanalwänden. Wird ein Kanal während einer Kanalaufbereitung durch abgeschabte, nach apikal geschobene Dentinspäne verblockt, geht dies mit einem Verlust der Arbeitslänge einher. Dieser Verschluss verhindert die suffiziente Reinigung der apikalen Region und vermindert die Aussicht auf eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung [67].

Davis et al. beobachten, dass durch die Kanaleingangsdarstellung ein Verlust der Arbeitslänge verhindert werden kann [24].

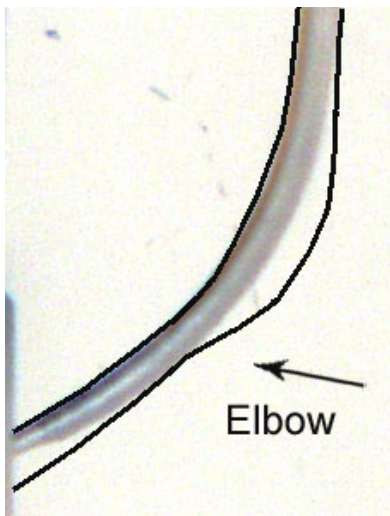


Abb. 1: Elbow-Konfiguration. Nach einer knieförmigen Ausdehnung der Außenkrümmung folgt eine sanduhrförmige Einziehung (Isthmus)

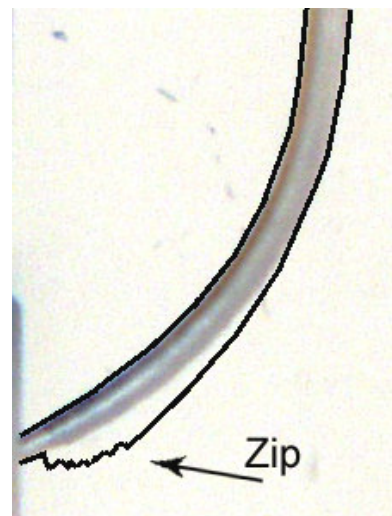


Abb. 2: Zip-Konfiguration. Übermäßiger Materialabtrag an der Außenkrümmung

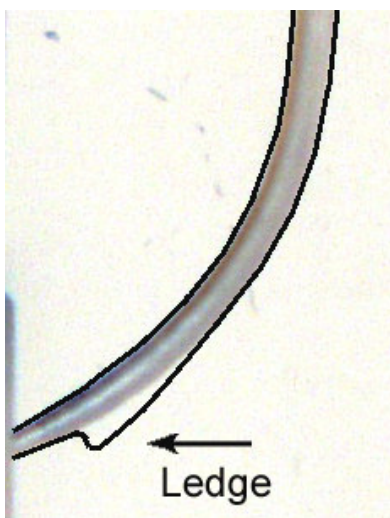


Abb. 3: Ledge-Konfiguration. Bildung einer Stufe in der Außenkrümmung im apikalen Bereich

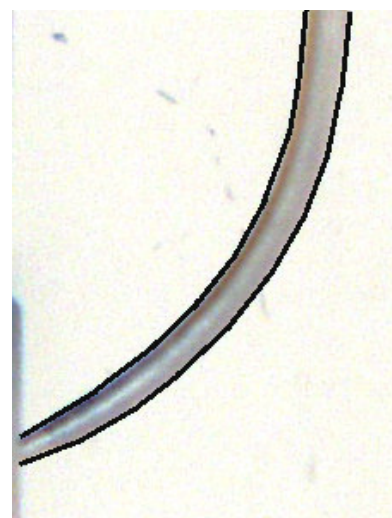


Abb. 4: Der Kanal zeigt einen durchgehenden Konus

2.4. Nickel-Titan-Legierungen für Aufbereitungsinstrumente

2.4.1. Entwicklung

Ab 1950 erlangte die Legierung Nickel-Titan (Ni-Ti) zunehmend die Aufmerksamkeit der Industrie aufgrund seines niedrigen Elastizitätsmoduls und der geringen Korrosionsneigung. Die 1963 vom Naval Ordnance Laboratory (Silver Springs, Maryland, USA) vorgestellte Legierung wurde unter dem Akronym „NiTiNOL“ bekannt und bestand aus annähernd gleichen Teilen Nickel und Titan [83]. Nickel-Titan wurde in der Zahnheilkunde ab Mitte der 70er Jahre zuerst für kieferorthopädische Drähte verwendet [83]. *Walia et al.* führten Ni-Ti 1988 in die Endodontie ein [116].

2.4.2. Physikalische Eigenschaften

Aufbereitungsinstrumente zur Wurzelkanalbehandlung werden aus der so genannten 55-Nitinol-Legierung mit 55 m% Nickel und 45 m% Titan oder der 60-Nitinol-Legierung mit 60 m% Nickel und 40 m% Titan hergestellt [83, 38]. In einigen Ni-Ti-Legierungen kann ein kleiner Prozentsatz (< 2 m%) Nickel durch Kobalt ersetzt sein [111]. *Schäfer* beobachtet, dass auch bis zu 0,05 m% Eisen enthalten sein können [83]. Für die Herstellung von manuellen Instrumenten werden sowohl die 55-Nitinol-Legierung als auch die 60-Nitinol-Legierung verwendet. Für Instrumente für die maschinelle Aufbereitung wird ausschließlich die 55-Nitinol-Legierung verwendet [83, 111]. Die Fertigung von Nickel-Titan-Instrumenten erfolgt durch Fräsen aus einem Rohling, während Edelmetallinstrumente sowohl gefräst als auch verdreht werden können [83, 38].

Weitere physikalische Eigenschaften wie das Elastizitätsmodul und das Biegemoment unterscheiden Ni-Ti-Legierungen von Edelmetall. Das Elastizitätsmodul E gibt das Verhältnis zwischen mechanischer Spannung σ und Dehnung ε an. Ist das Elastizitätsmodul groß, ist auch bei großer Spannung die Dehnung gering [115]. Das Elastizitätsmodul der Ni-Ti-Legierung beträgt lediglich ein Fünftel des entsprechenden Wertes für Chrom-Nickel-Stahl. Auch das Biegemoment liegt deutlich unter dem des

Edelstahls. Bei zunehmendem Biegemoment zeigen Nickel-Titan-Instrumente in einem weiten Bereich eine elastische Deformation. Diese Eigenschaft wird als Pseudoelastizität bezeichnet. Bei Überschreiten der kritischen Spannungsgrenze erfolgt eine Umwandlung der Metallgitterstruktur: bei Druckzufuhr geht die Austenit-Phase (Hochtemperaturphase) der Nickel-Titan-Legierung in die Martensit-Phase (Tieftemperaturphase) über [111]. Bei zunehmender Belastung wird so das Kristallgitter plastisch verformbar. Unter einer starken Dehnung tritt folglich nur eine geringfügig ansteigende Spannung auf. Nach Unterschreiten der Spannungsgrenze erfolgt die Wiederherstellung der Austenit-Phase [1, 54]. Ein Vorbiegen von Nickel-Titan-Instrumenten zur Aufbereitung ist somit nicht möglich [37], wie es bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle mit Edelstahlfeilen gefordert wird [7].

Das pseudoelastische Verhalten der Nickel-Titan-Legierung erklärt die daraus resultierende hohe Flexibilität und den so genannten „Memory-Effekt“. Als Aufbereitungsinstrumente ermöglichen diese Eigenschaften eine gute Formgebung der Kanalwände [83, 13]. Deshalb birgt diese Legierung in Aufbereitungsinstrumenten für gekrümmte Kanäle eine Alternative zu Edelstahlinstrumenten [37, 83, 38].

Zur Bearbeitung des Dentins müssen Wurzelkanalinstrumente eine höhere *Vickers*-Härte [HV] als Dentin besitzen. Die Härte des menschlichen Dentins liegt zwischen 28 HV und 35 HV. Die *Vickers*-Härte für Edelstahlinstrumente liegt zwischen 522 HV und 542 HV, während Instrumente aus Ni-Ti Werte zwischen 303 HV und 362 HV aufweisen. Die niedrigere *Vickers*-Härte der Nickel-Titan-Instrumente bewirkt eine niedrigere Schneidleistung gegenüber Edelstahlinstrumenten und führt zudem zu einem schnelleren Verschleiß und somit zu einer reduzierten Anwendungshäufigkeit gegenüber Edelstahlinstrumenten [83].

2.4.3. Korrosionsverhalten

Es wird beobachtet, dass Korrosion von Nickel-Titan-Legierungen sowohl in der Mundhöhle als auch in isotonischer Kochsalzlösung möglich sind [29, 79, 63, 94]. *O'Hoy et al.* beobachten, dass Korrosion von Nickel-Titan in Kontakt mit NaOCl deutlich größer ist als in der Mundhöhle oder in Kontakt mit NaCl-Lösung [68]. *Daraban et al.* bescheinigen Nickel-Titan-Instrumenten jedoch eine hohe Korrosionsresistenz sowohl gegen 5,25%ige NaOCl-Lösung als auch gegen 17%ige R-EDTA-Spüllösung [23]. *Testarelli et al.* stellen fest, dass wiederholtes Sterilisieren von Nickel-Titan-Feilen zu keiner negativen Beeinflussung der Instrumente führt [109].

2.4.4. Frakturanfälligkeit

Verschiedene Autoren beschreiben eine erhöhte Frakturanfälligkeit von maschinellen Instrumenten gegenüber manuellen Instrumenten [74, 26, 114, 9]. Während mit manuellen Instrumenten maximal 180° Drehungen durchgeführt werden [78], rotieren maschinelle Instrumente fortlaufend. Bei einmaliger Anwendung von rotierenden Ni-Ti-Instrumenten lassen sich Frakturnraten signifikant reduzieren [3].

Parashos und Messer beobachten in ihrer Übersichtsarbeit, dass Ni-Ti-Instrumente im klinischen Gebrauch seltener frakturieren als Edelstahl-Handfeilen [70]. Sie beobachten, dass Frakturen von rotierenden Ni-Ti-Instrumenten vielseitige Gründe haben, von denen die Fähigkeit und Erfahrung des Behandlers die wichtigsten sind.

Um die Oberflächenhärte der Ni-Ti-Instrumente zu verbessern und eine erhöhte Lebensdauer der Instrumente zu erzielen, werden verschiedene Verfahren erprobt. Dies erfolgt in Form von Nachbehandlungen in einem elektrolytischen Polierverfahren, ionenplattierten Titannitridschichten oder durch Borionenimplantation [53]. Dabei soll die Korrosionsneigung und der Abrieb der Schneidekanten reduziert werden.

2.5. Geometrie von Nickel-Titan Instrumenten

Feilen unterscheiden sich über ihre Materialkonstanten hinaus in ihren jeweiligen Konstruktionsmerkmalen, die die Eigenschaften und Funktionsweise der Instrumente beeinflussen. In der Länge der Feile ist der Neigungswinkel der Schneide zu messen, im Querschnitt sind verschiedene Winkel messbar, die im folgenden definiert werden sollen [99]:

- *„Neigungswinkel:* Er gibt die Neigung der Schneidekante in Bezug auf die Instrumentenlängsachse an. Bei definierter Länge des Arbeitsteils gilt: Je höher die Anzahl der Schneiden, desto größer ist der Neigungswinkel (s. Abb. 8, Seite 20).
- *Spanwinkel:* Winkel zwischen der Vorderfläche des Schneidkeils und der Senkrechten auf der zu bearbeitenden Oberfläche. Positive Spanwinkel bedeuten generell niedrigere Schnittkräfte als negative Spanwinkel.
- *Keilwinkel:* Winkel zwischen der Werkzeugvorderfläche und -rückfläche. Eine Schneide mit einem kleinen Keilwinkel ist scharf, bricht aber leicht ab. Eine Schneide mit einem großen Keilwinkel ist wenig aggressiv bei der Spanbildung, hat aber eine hohe Standzeit.
- *Freiwinkel:* Winkel zwischen der Schneidenhinterkante und der Werkstückoberfläche. Ist kein Freiwinkel vorhanden, kann die Schneide nicht in die Oberfläche eindringen.“

Spanwinkel, Freiwinkel und Keilwinkel werden auch als Wirkwinkel bezeichnet und ergeben gemeinsam immer 90°. Die Werte für die FlexMaster-Feile 04.30 betragen z.B.: Spanwinkel -55°, Freiwinkel 39°, Keilwinkel 106° [99].

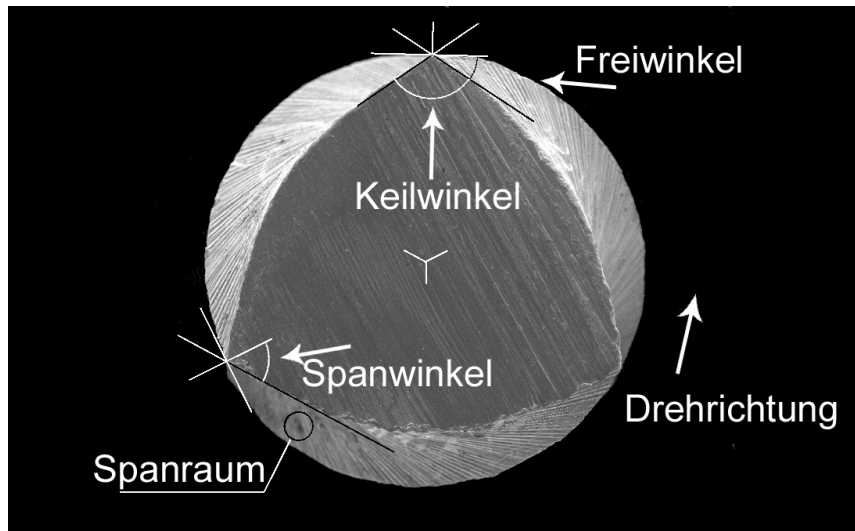


Abb. 5: Winkelbezeichnung am Querschnitt eines FlexMaster-Instruments (FlexMaster 04.30)

2.6. Statistische Verfahren

Für die Auswertung experimentell erhobener Daten stehen heute Computerprogramme zur Verfügung. Bekannte Statistik-Anwenderprogramme sind z.B. SPSS [Statistical Package for the Social Sciences], oder SAS [Statistical Analyse System]. Hiermit ist es möglich, analytische und deskriptive statistische Untersuchungen durchzuführen.

Bei intervallskalierten Messwerten ist entscheidend, ob die Werte der Gaußschen Normalverteilung folgen oder nicht. Je nach Verteilung ist als statistischer Kennwert der Mittelwert oder der Medianwert zur Anwendung statistischer Tests zu verwenden [128]. Die Verteilung kann grafisch mit Hilfe eines Histogramms überprüft werden. Ist ein Histogramm nicht eindeutig, kann rechnerisch mit Hilfe der Chi-Quadrat-Einfachanordnung oder dem Kolmogoroff-Smirnow-Test ermittelt werden, ob die erhobenen Daten einer Normalverteilung folgen. Im Falle einer Normalverteilung der Messwerte, erfolgt die weitere Auswertung mit dem parametrischen t-Test. Liegt keine Normalverteilung vor, wird der nichtparametrische U-Test nach Mann und Whitney angewendet [127].

Bezüglich der Wertung von Ergebnissen hat sich ein einheitlicher Sprachgebrauch eingebürgert. Aussagen, die mit einer

Irrtumswahrscheinlichkeit (p) kleiner oder gleich 5% behaftet sind, nennt man signifikant, solche mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich 1% heißen sehr signifikant und solche mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich 0,1% höchst signifikant. Man symbolisiert in Veröffentlichungen diese Sachverhalte durch ein, zwei oder drei Sternchen [127].

Nominal oder ordinal skalierte Werte werden mit dem Chi-Quadrat-Test ausgewertet. Bei tabellarischer Darstellung der Daten können zugleich sowohl die beobachteten als auch die erwarteten Häufigkeiten für ein Merkmal ausgezählt werden. Wird für das standardisierte Residuum ein Wert größer 2 errechnet, liegt ein signifikanter Unterschied zwischen beobachteter und erwarteter Häufigkeit vor [11].

3. Zielsetzung

In der vorliegenden Untersuchung sollen je 70 künstliche Wurzelkanäle mit dem FlexMaster System und 70 Kanäle mit dem MFile System bis zur apikalen Zielgröße ISO 35 aufbereitet werden.

Um die Formveränderung des ursprünglichen Kanalverlaufs halb-quantitativ beurteilen zu können, werden die Kunststoffprobekörper planimetrisch vor und nach der Aufbereitung digital erfasst. Mittels digitaler, vergrößerter Darstellung werden die Kanäle auf Formabweichungen wie Zip, Ledge, Elbow und Transportation untersucht. Unter dem Mikroskop werden die Aufbereitungslängen beurteilt. Alle Feilen sollen nach Abschluss der Aufbereitung unter dem Mikroskop untersucht werden. Frakturierte und aufgewundene Instrumente werden mit dem REM vergrößert dargestellt und befundet.

Folgende Hypothesen sollen geprüft werden:

1. Die beiden untersuchten Systeme unterscheiden sich nicht bezüglich der durchschnittlich benötigten Aufbereitungszeit für die Wurzelkanalaufbereitung.
2. Die Frakturraten beider Aufbereitungssysteme unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.
3. Die verwendeten Instrumente weisen nach Aufbereitung von je 7 Wurzelkanälen keine Torsionsspuren oder Defekte auf.
4. Mit beiden Systemen wird durch die Bearbeitung die originäre Form des Kanalverlaufs beibehalten.

4. Material und Methode

4.1. Versuchsdesign

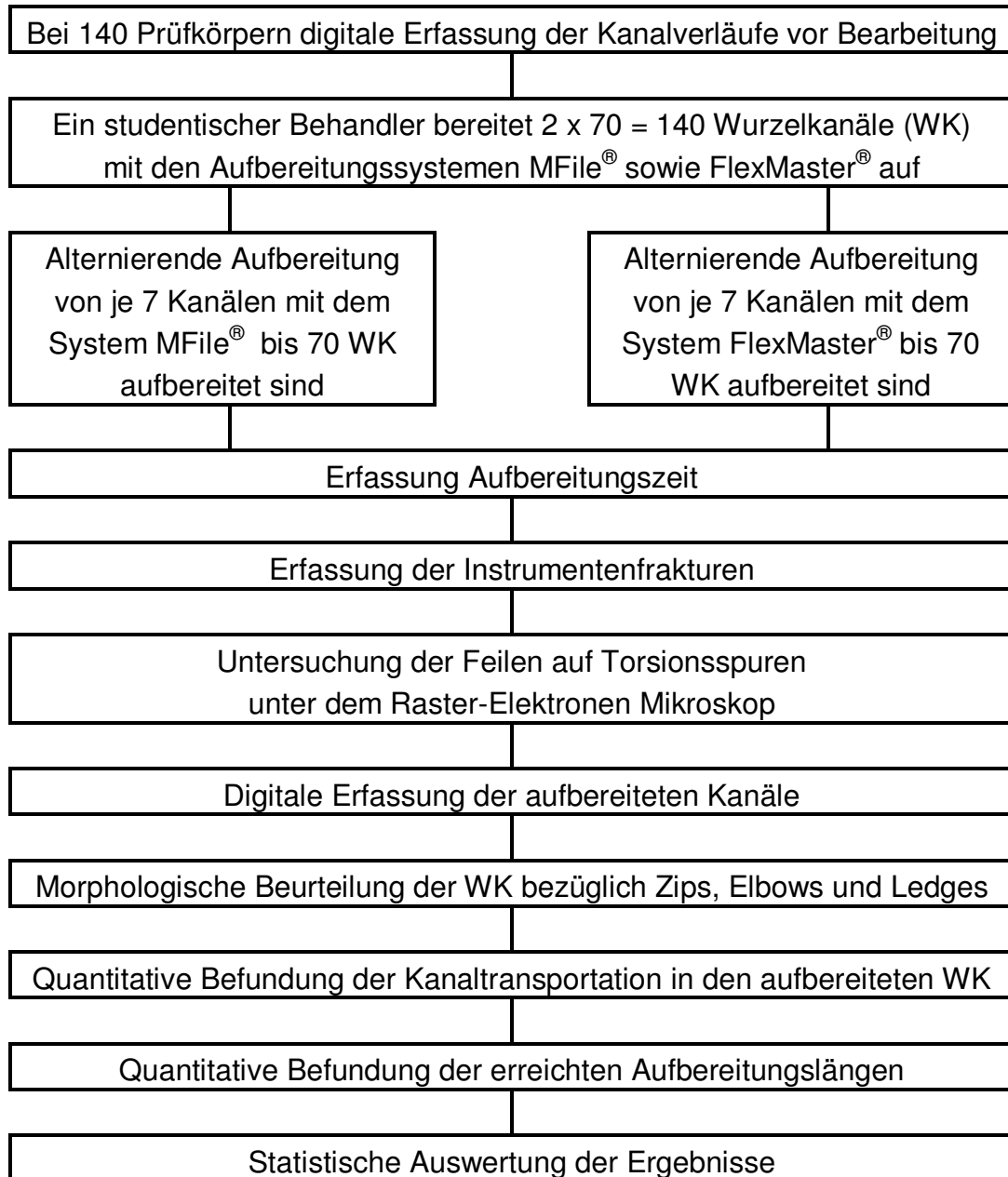


Abb. 6: Versuchsdesign

4.2. Instrumente zur Kanalaufbereitung

Die Aufbereitung erfolgte durch einen studentischen Behandler, der vor Versuchsbeginn 50 künstliche Wurzelkanäle aufbereitete. In der vorliegenden Untersuchung wurden 140 stark gekrümmte künstliche Wurzelkanäle auf ISO 35/.02 aufbereitet. Als Prüfkörper wurden Epoxidharz-Blöckchen¹ mit 19 mm langen Kanälen verwendet. Der Kanal war im Kanaleingangsbereich bis zu einer Tiefe von 5 mm konisch erweitert. Es folgte ein gerader koronaler Kanalanteil von 7 mm und ein gekrümmter Kanalanteil mit einem Kreisbogen von 7 mm Länge. Die Kanäle wiesen einen nach der Methode von Schneider gemessenen Winkel von 40° [91] und einen nach Pruett gemessenen Krümmungsradius von 6,0 mm auf [74].

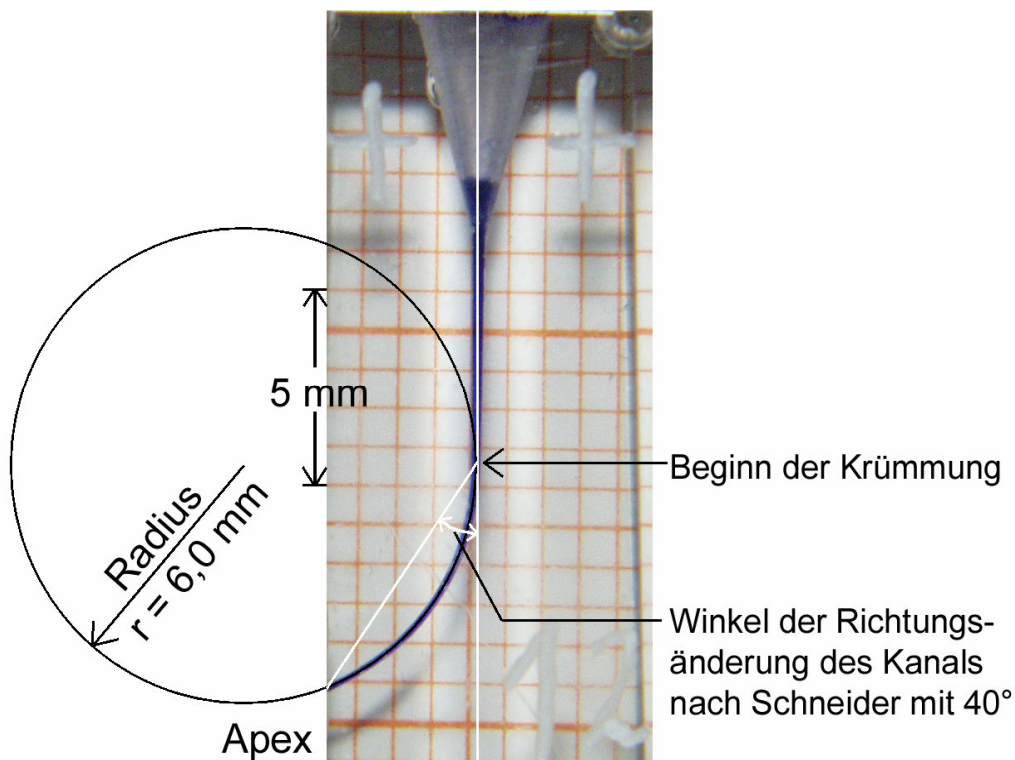


Abb. 7: Messung der Richtungsänderung des Kanalverlaufs nach Schneider („einfache Winkelmessung“)

Die Aufbereitung der Kanäle erfolgte mit dem jeweiligen Instrumentenset aus dem FlexMaster-² und MFile-System³. Beim FlexMaster-System wurde hierfür die in der Tab. 1 gelistete Feilensequenz von 8 Feilen angewandt. Die FlexMaster-Feilen hatten laut Herstellerangaben eine Länge von 25 mm, ein 16 mm langes Arbeitsteil, eine nicht schneidende Spitze, eine Schneidekantengeometrie vom Typ K und im Querschnitt konvexe Grenzflächen des Dreikants (siehe Abb. 9). Sie besaßen eine Konizität von 2°, 4° oder 6°, bezeichnet als Taper .02, .04 bzw. .06 und wurden mit einer Umdrehungszahl von 150 bis max. 300 U/min benutzt (VDW, München). Die IntroFile⁴ zur Kanaleingangsdarstellung bildete eine Ausnahme mit einer Länge von 19 mm, einem 9 mm langen Arbeitsteil und einer Konizität von 11°. Die FlexMaster-Feilen wurden mit dem Endo IT Control-Schrittmotor⁵ mit drehmomentbegrenztem Antrieb angewandt.

<i>Größe</i>	<i>Konizität (Taper)</i>	<i>Arbeitslänge</i>
<i>ISO 22</i>	<i>.11</i>	<i>< 9 mm</i>
<i>ISO 30</i>	<i>.06</i>	<i>< 18 mm</i>
<i>ISO 25</i>	<i>.06</i>	<i>< 18 mm</i>
<i>ISO 20</i>	<i>.06</i>	<i>< 18 mm</i>
<i>ISO 30</i>	<i>.04</i>	<i>< 18 mm</i>
<i>ISO 20</i>	<i>.02</i>	<i>18 mm</i>
<i>ISO 25</i>	<i>.02</i>	<i>18 mm</i>
<i>ISO 30</i>	<i>.02</i>	<i>18 mm</i>
<i>ISO 35</i>	<i>.02</i>	<i>18 mm</i>

Tab. 1: Reihenfolge der FlexMaster- Instrumente in ihrer Anwendung

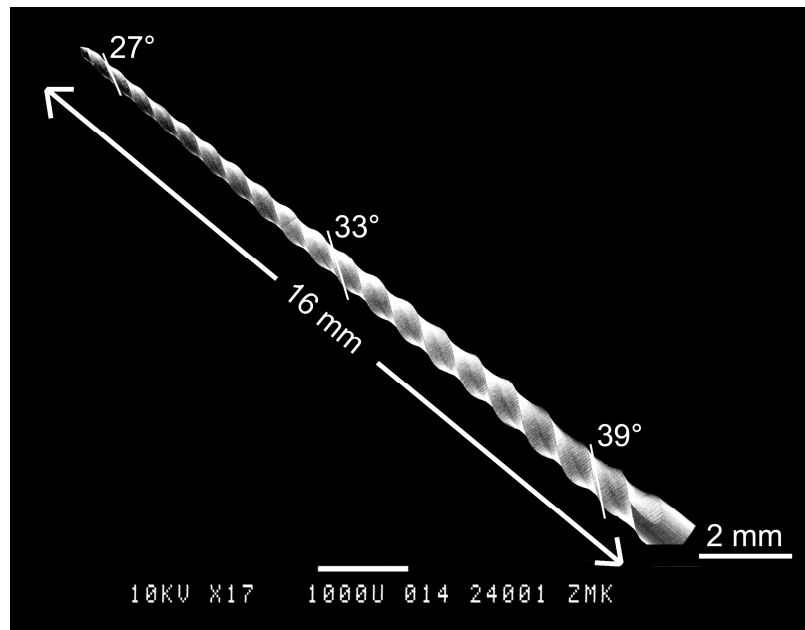


Abb. 8: FlexMaster-Feile ISO 30 Taper .02 in Längsansicht in 17-facher Vergrößerung mit flacher werdendem Neigungswinkel der Schneide von 39° auf 27° . Die Länge des Arbeitsteils beträgt 16,0 mm.

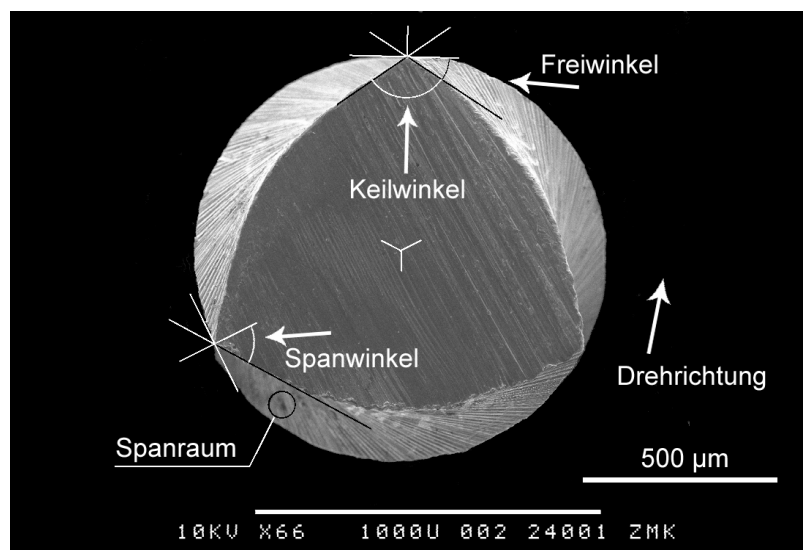


Abb. 9: FlexMaster-Feile ISO 30 Taper .04 im Querschnitt in 66-facher Vergrößerung und 12 mm vom Apex entfernt. Es liegt ein Dreikant mit konvexen Grenzflächen, einer K-förmigen Schneidekante, einem Keilwinkel von 106° , einem negativen Spanwinkel von -55° , einem Freiwinkel von 39° und einem Schnittwinkel von 145° vor.

Als MFile-Instrumente wurden die in der Tab. 2 aufgelisteten Feilen benutzt. Die Feilen #1, #2 und #3 hatten jeweils unterschiedliche konstruktive Merkmale. Allen waren die nicht schneidende Spitze und die Arbeitsdrehzahl von 500 U_{min} gemeinsam. Feile #1 (MF1 30.06), mit der das koronale Kanaldrittel bearbeitet wurde, hatte ein Arbeitsteil von 6,5 mm Länge (Abb. 10), ein Dreikantprofil mit negativem Schneidewinkel und eine S-förmige Schneidekantengeometrie (Abb. 11). Feile #2 (MF2 30.04), mit der das mittlere Drittel bearbeitet wurde, hatte ein Arbeitsteil von 5 mm Länge und eine zur Instrumentenspitze hin dichter werdende Wendelung, d.h. der Steigungswinkel der Schneideflanke in Bezug zur Längsachse wurde flacher (Abb. 12). Feile #3 (MF3 30.02) hatte ein Arbeitsteil von 4 mm und war für die Aufbereitung des apikalen Drittels des Wurzelkanals ausgelegt (Abb. 14). Hier lag im Unterschied zu den anderen beiden Feilen ein Vierkantprofil vor. Feile #4 (MF3 35.02) entsprach dem Profil von Feile #3, jedoch mit einem breiteren Durchmesser entsprechend ISO 35 (Abb. 16). Die MFiles wurden mit dem für diese Instrumente empfohlenen S.E.T. Endo-Stepper⁶ betrieben.

<i>Laufnummer</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Größe</i>	<i>Konizität (Taper)</i>	<i>Arbeitslänge</i>
<i>#1</i>	<i>MF1 30.06</i>	<i>ISO 30</i>	<i>.06</i>	<i>10 mm</i>
<i>#2</i>	<i>MF2 30.04</i>	<i>ISO 30</i>	<i>.04</i>	<i>≤15 mm</i>
<i>#3</i>	<i>MF3 30.02</i>	<i>ISO 30</i>	<i>.02</i>	<i>18 mm</i>
<i>#4</i>	<i>MF3 35.02</i>	<i>ISO 35</i>	<i>.02</i>	<i>18 mm</i>

Tab. 2: Reihenfolge der MFile-Instrumente in ihrer Anwendung

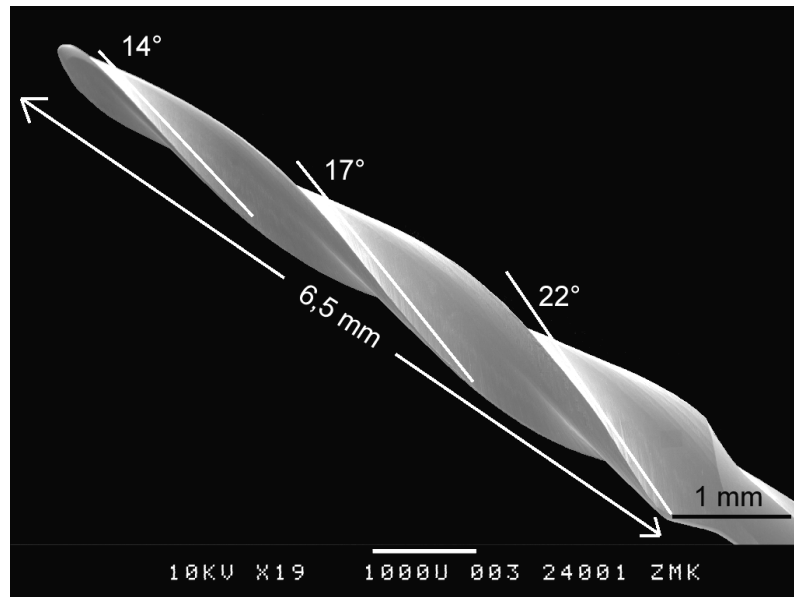


Abb. 10: MF1 30.06 in Längsansicht bei 19-facher Vergrößerung mit zur Instrumentenspitze abflachendem Neigungswinkel der Schneide von 22° auf 14° . Die Länge des Arbeitsteils beträgt 6,5 mm.

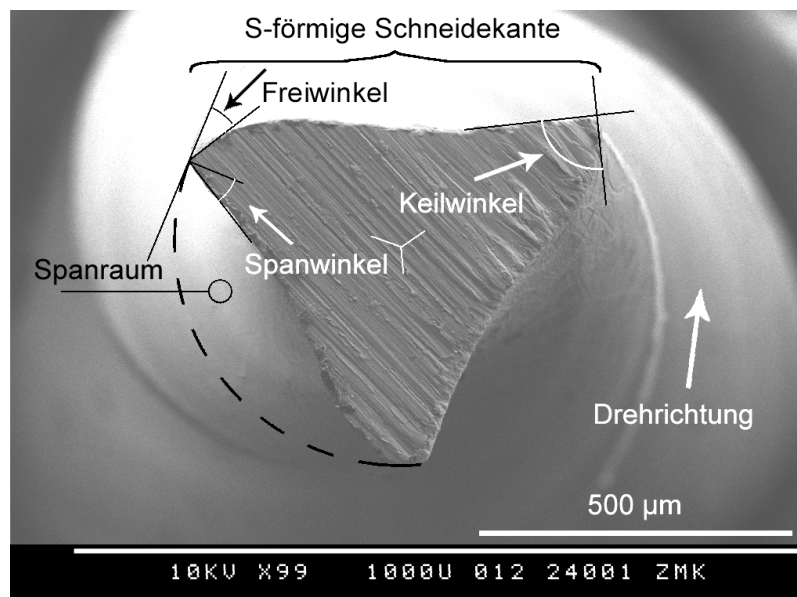


Abb. 11: MF1 30.06 im Querschnitt 1 mm vom apikalen Ende entfernt bei 99-facher Vergrößerung mit einer S-förmigen Verbindungslinie von Schneidekante zu Schneidekante, einem Keilwinkel von 90° , einem negativen Spanwinkel von -29° , einem Freiwinkel von 25° und einem Schnittwinkel von 119°

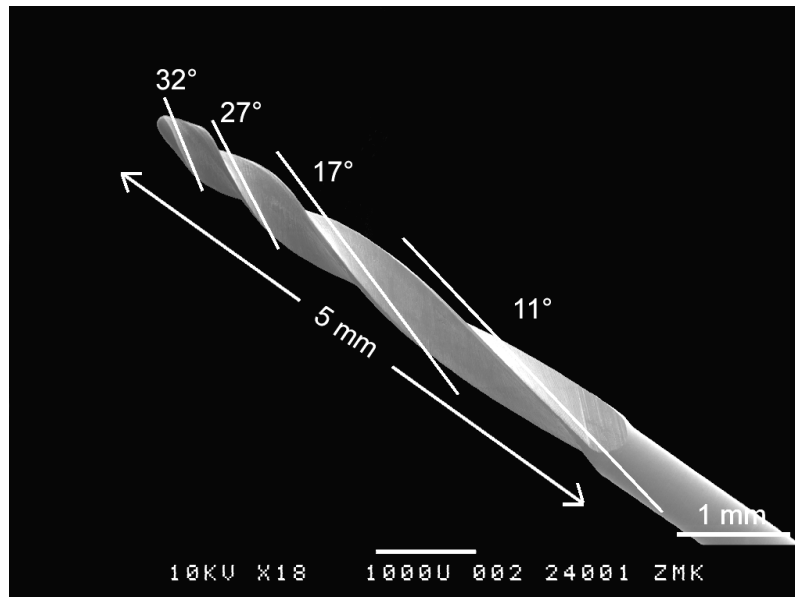


Abb. 12: MF2 30.04 in Längsansicht bei 18-facher Vergrößerung mit steiler werdendem Neigungswinkel der Schneide von 11° auf 32° . Die Länge des Arbeitsteils beträgt 5,0 mm.

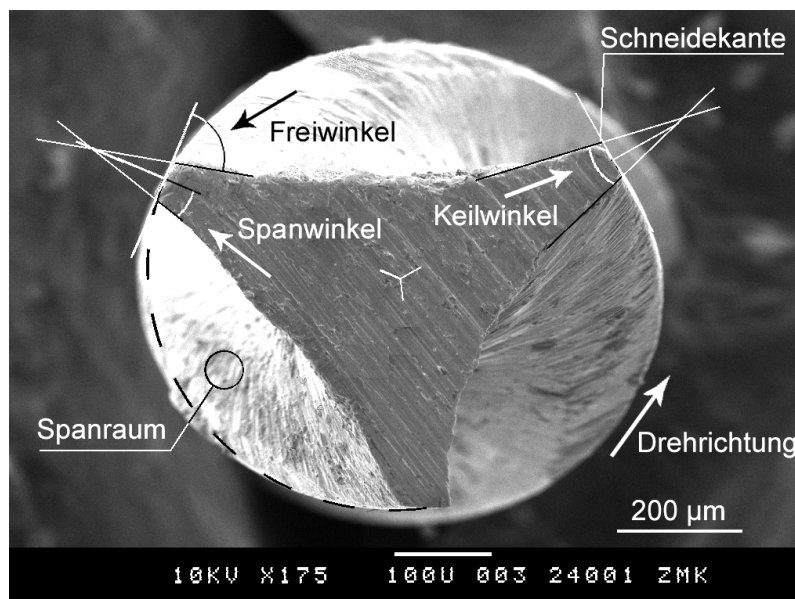


Abb. 13: MF2 30.04 im Querschnitt 1 mm vom apikalen Ende entfernt bei 175-facher Vergrößerung mit konkaver Verbindungslinie zwischen den schneidenden Arealen des Instruments, einem Keilwinkel von 58° , einem negativen Spanwinkel von -26° , einem Freiwinkel von 58° und einem Schnittwinkel von 116°

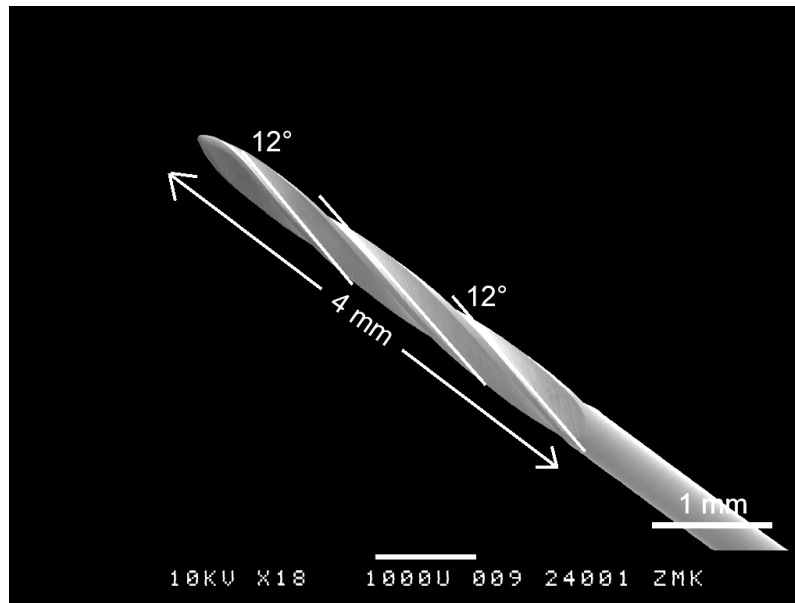


Abb. 14: MF3 30.02 in Längsansicht bei 33-facher Vergrößerung mit gleich bleibendem Neigungswinkel der Schneide. Die Länge des Arbeitsteils beträgt 4,0 mm.

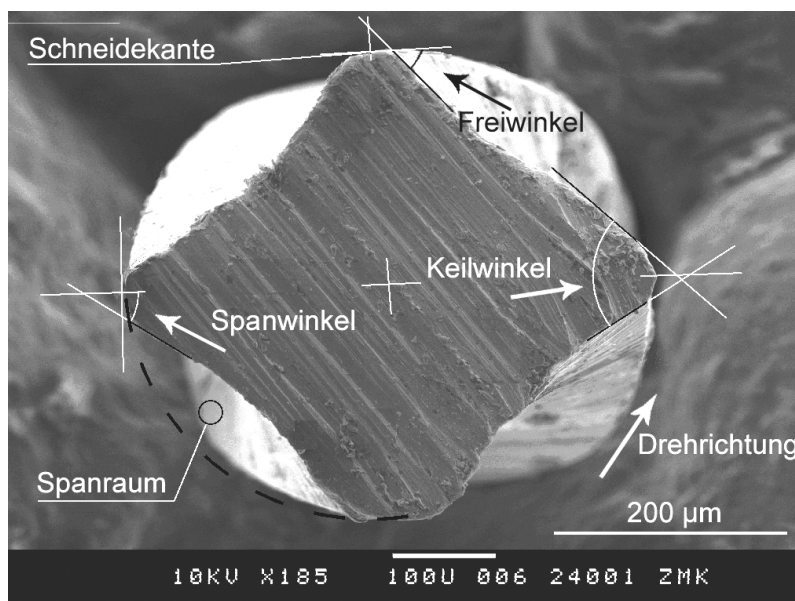


Abb. 15: MF3 30.02 im Querschnitt 1 mm vom apikalen Ende entfernt bei 185-facher Vergrößerung mit konkaver Verbindungslinie zwischen den schneidenden Arealen des Instruments, einem Keilwinkel von 75° , einem negativen Spanwinkel von -33° , einem Freiwinkel von 48° und einem Schnittwinkel von 123°

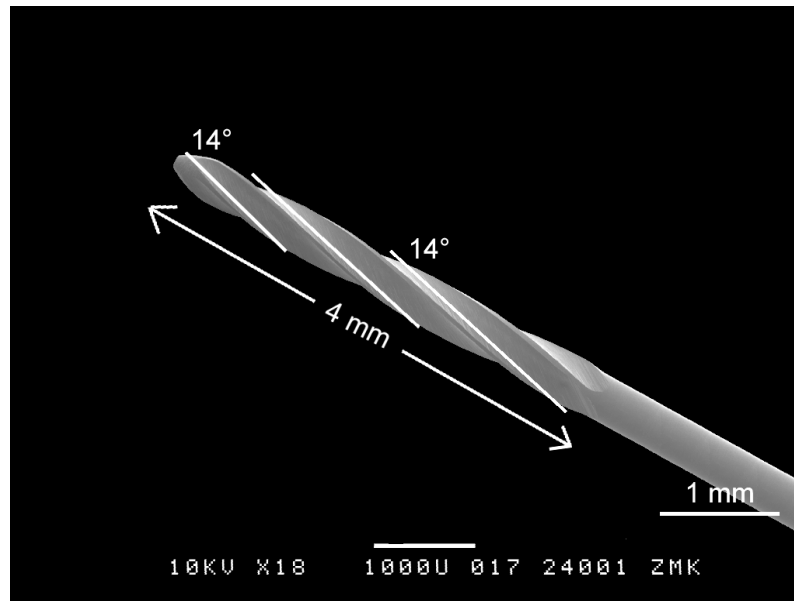


Abb. 16: MF3 35.02 in Längsansicht bei 18-facher Vergrößerung mit gleich bleibendem Neigungswinkel der Schneide. Die Länge des Arbeitsteils beträgt 4,0 mm.

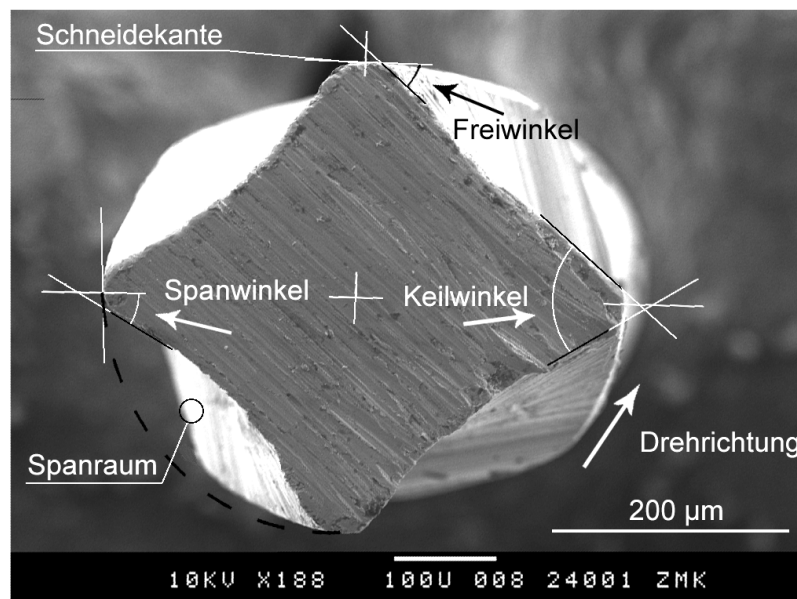


Abb. 17: MF3 35.02 im Querschnitt 1 mm vom apikalen Ende entfernt und 188-facher Vergrößerung mit konkaver Verbindungslinie zwischen den schneidenden Arealen des Instruments, einem Keilwinkel von 74° , einem negativen Spanwinkel von -31° , einem Freiwinkel von 47° und einem Schnittwinkel von 121°

4.3. Vorbehandlung der künstlichen Wurzelkanäle

Jeder Prüfkörper wurde lateral des Eingangstrichters mit einem Diamant-Schleifer⁷ mit zwei eingefrästen Kreuzen markiert. Zusätzlich wurde in jedes Blöckchen eine fortlaufende Nummer von #1 bis #140 gefräst. Anschließend wurde mit einer Injektionskanüle der Farbstoff Methylenblau⁸ in jeden Wurzelkanal injiziert.

Silikon-Abformmaterial⁹ wurde manuell angemischt und in eine schwarze handelsübliche Foto-Filmdose eingebracht. Der Prüfkörper wurde in das Silikon mittig eingedrückt, bis er am oberen Rand mit dem Rand der Fotodose abschloss. Überschüssiges Silikon wurde entfernt und die Dose mit einem Deckel verschlossen. Nach Aushärtung des Silikons wurde der Prüfkörper entfernt und in den Deckel der Dose zentral eine Öffnung gebohrt. In Höhe des apikalen Foramens wurde eine laterale Öffnung in die Dose gebohrt (Abb. 18 und Abb. 19). Die Funktionsfähigkeit des Prüfkörpers wurde durch anschließende Spülung des Wurzelkanals in der Foto-Filmdose überprüft. Es musste aus der lateralen Bohrung Spülflüssigkeit entweichen können.

Vor der maschinellen Bearbeitung der Wurzelkanäle wurde die Durchgängigkeit des Kanals mit einer K-Feile¹⁰ der ISO-Größe #15 überprüft. Auf eine Bearbeitung des Kanaleinganges mit Gates-Glidden-Bohrern (Preflare) wurde verzichtet.

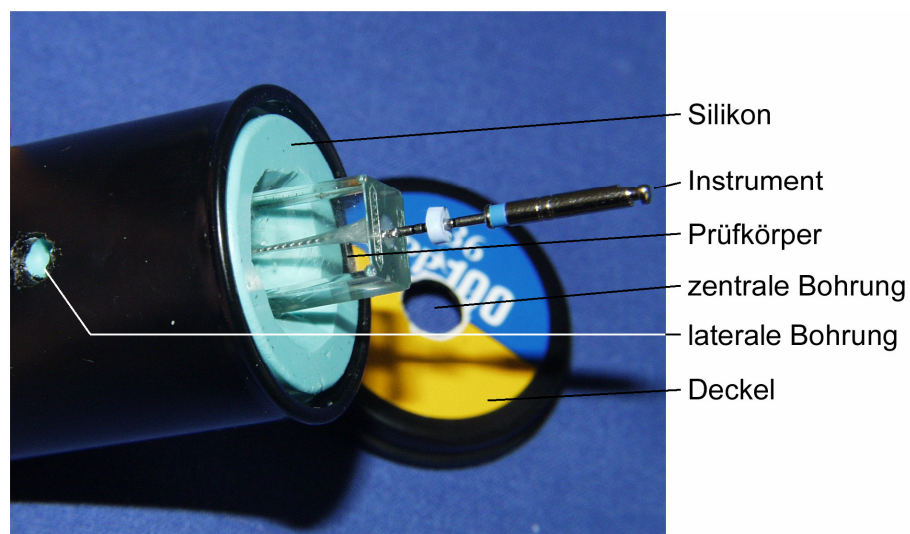


Abb. 18: Prüfkörper mit Instrument in präparierter Filmdose

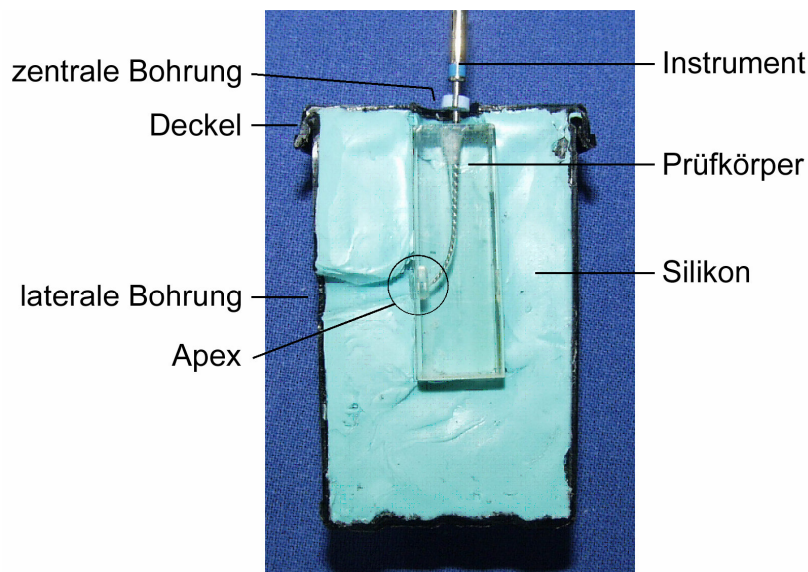


Abb. 19: Prüfkörper mit Instrument in präparierter Filmdose -
Lateralansicht von innen

4.4. Bilddokumentation von Größe und Form der künstlichen Wurzelkanäle

Eine Digitalkamera¹¹ wurde in einem speziell hergestellten Stativ¹² installiert, um einen reproduzierbaren Abstand zu den Prüfkörpern zu gewährleisten (Abb. 20). Zum Fokussieren wurde der Makromodus der Kamera gewählt und 2 Vorsatzlinsen von insgesamt 7 Dioptrien vor das Objektiv geschraubt. Als Hintergrund diente Millimeterpapier. Von jedem Prüfkörper wurde eine Makroaufnahme hergestellt und über eine Chip-Karte¹³ auf einen PC¹⁴ übertragen und im jpg.-Format gespeichert. Die Pixel-Auflösung der Aufnahmen betrug dabei etwa 1300 x1700 Pixel.

Nach der digitalen Aufnahme wurden die Kanäle mit 5 ml H₂O gespült und die Methylenblau-Lösung damit entfernt.

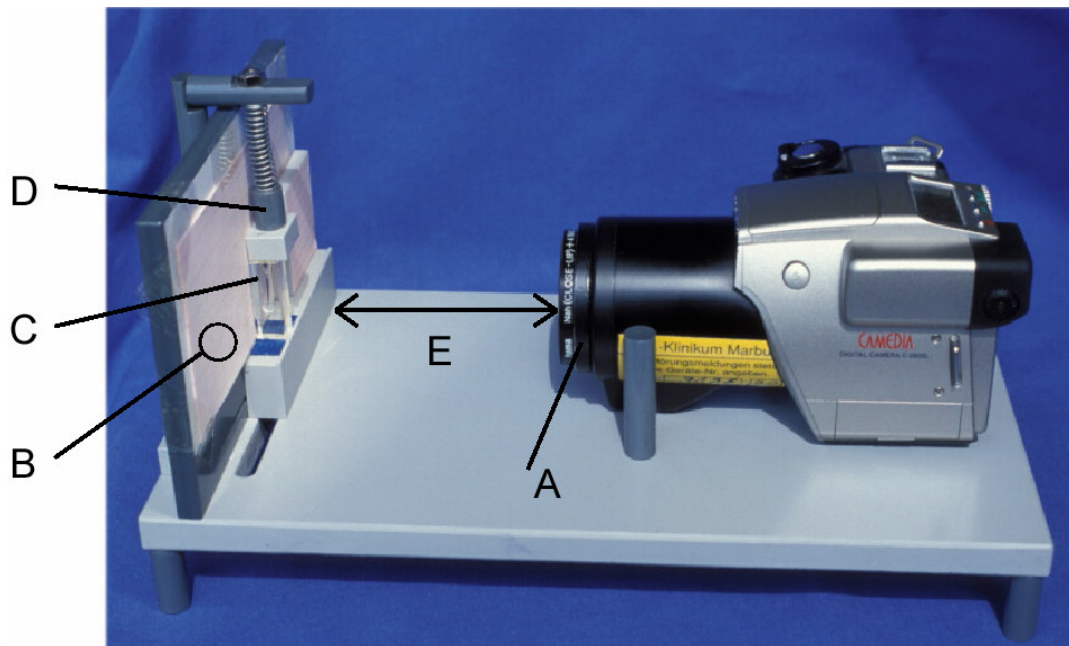


Abb. 20: Digitalkamera mit Reprostativ.

A = 2 Vorsatzlinsen, B = Millimeterpapier, C = Prüfkörper,

D = Fixationsstempel, E = Abstand der Kamera zum Prüfkörper

4.5. Randomisierung

Die Randomisierung der 140 Blöckchen erfolgte mit Hilfe eines im Internet verfügbaren Computerprogramms (www.random.org). So wurde eine zufällige Zahlenkolonne generiert, die wiederum in Abschnitte mit je sieben Zahlen unterteilt wurde. Die ersten sieben Blöckchen wurden dem FlexMaster-System, die folgenden sieben dem MFile-System zugeordnet. Die darauf folgenden sieben Blöckchen wurden wiederum dem FlexMaster-System zugewiesen. Die so entstandenen Zuordnungen wurden in eine Codierungsliste aufgenommen, mit deren Hilfe von jedem Blöckchen auf das Zubereitungssystem und die laufende Aufbereitungsnummer geschlossen werden konnte. Die Kanäle wurden so randomisiert nach dieser Liste aufbereitet.

Die anschließende Befundung der Kanäle erfolgte verblindet. Es war nicht bekannt, mit welchem System der jeweilige Kanal aufbereitet worden war. Demnach liegt hier eine Einfach-Blind-Studie vor.

4.6. Aufbereitung der artifiziellen Wurzelkanäle

Jedes Instrument wurde nach jeder Aufbereitung eines Prüfblöckchens visuell auf Frakturen und Torsionsspuren überprüft. Trat während der Aufbereitung der Wurzelkanäle eine Feilenfraktur auf, wurde diese erfasst und das Instrument ersetzt. Der betroffene Kanal wurde nicht in die weitere Aufbereitung einbezogen. Dokumentiert wurden die ISO-Größe, die Konizität und die Häufigkeit der Anwendung einer Feile. Nach Aufbereitung von 7 Kanälen wurde eine Pause von mindestens 15 Minuten eingelegt. Nach der Pause wurde der Instrumentensatz des anderen Herstellers angewendet. Pro Tag wurden maximal 42 Wurzelkanäle aufbereitet.

4.6.1. Aufbereitung mit MFile-Instrumenten

Zur Aufbereitung der Kanäle mit den MFiles erhielt der Behandler einen fabrikneuen Satz Instrumente³ (Tab. 2). Angetrieben wurde die Instrumente durch einen Motor⁶ mit abgestimmter durchmesserabhängigen Drehmomentbegrenzung [104]. Die Drehmomentbegrenzungen für die jeweiligen Feilen waren im S.E.T. Endo-Stepper⁶ gespeichert und wurden für die Bearbeitung der Kunststoffprobekörper erhöht. Die Feilen wurden mit 500 U/min eingesetzt.

Das obere Kanaldrittel wurde mit dem Instrument MF1 30.06 konisch erweitert. Darauf folgend wurden die Instrumente entsprechend der Crown-down-Technik eingesetzt. Die Instrumente wurden nach der in Tab. 2 beschriebenen Reihenfolge eingesetzt. Die zweite Feile MF2 30.04 diente zur Aufbereitung des mittleren Kanaldrittels bis drei Millimeter vor dem Apex. Das apikale Drittel wurde mit dem dritten Instrument MF3 30.02 bearbeitet. Das vierte Instrument MF3 35.02 diente lediglich der apikalen Erweiterung von ISO #30 auf ISO #35. Die Feilen sind jeweils in ihrer Längsansicht und einer Querschnittsansicht abgebildet (Abb. 10-17). Jede Feile wurde vor dem Einführen in den Kanal mit etwas glycerinhaltigem Gleitmittel¹⁵ beschickt. Jede Feile wurde im Kanal maximal 10 Sekunden aktiv apikalwärts betrieben. Nach jedem Feilenwechsel wurde der Kanal mit 1,5 ml H₂O gespült. Jede Feile wurde in sieben Kanälen zur Aufbereitung eingesetzt, dann wurde ein

neues Instrument verwendet. Frakturierte ein Instrument während der Anwendung, wurde dies durch ein neues Instrument ersetzt. Für diese Feile begann die Zählung von vorn.

Abschließend wurde ein Guttapercha-Stift¹⁶ der Größe ISO 30/.02 mit einer Guttapercha-Messlehre¹⁷ auf ISO 35/.02 gebracht. Dieser kalibrierte Guttapercha-Stift wurde auf die aufbereitete Länge von 18 mm gekürzt und mit einer Pinzette als Masterpoint bis zum apikalen Stopp geschoben. Nach Kontrolle der Distanz des Stiftendes zum apikalen Foramen mit Hilfe eines Auflichtmikroskops¹⁷ wurde der Guttapercha-Stift wieder entfernt.

4.6.2. Aufbereitung mit FlexMaster-Instrumenten

Für die Aufbereitung der Wurzelkanäle mit dem FlexMaster-System wurde dem Behandler ein fabrikneuer Satz Instrumente² inklusive der IntroFile⁴ ausgehändigt (Tab. 1). Zusätzlich erhielt der Behandler einen Motor⁵ mit individuell auf jedes Instrument abgestimmten Drehmomenten. Es wurde die Arbeitsebene Level II für „erfahrene Anwender“ mit höheren Drehmomentwerten für die einzelnen Instrumente ausgewählt. Für die Feile FM 06/.25 bedeutete dies z.B. ein maximales Drehmoment von 1,16 statt 0,93 Ncm. Die Feilen wurden mit 280 U_{min} eingesetzt.

Zunächst erfolgte eine Kanaleingangsdarstellung mit der IntroFile. Die FlexMaster-Feilen wurden in der Crown-down-Technik eingesetzt. Die Instrumente wurden nach der in Tab. 1 beschriebenen Reihenfolge eingesetzt. Das Instrument der Größe ISO 20/.02 erreichte als erstes die volle Arbeitslänge von 18 mm. Mit den nachfolgenden Instrumenten wurde das apikale Drittel erweitert. Vor der Anwendung einer Feile wurde die Instrumentenspitze mit einer geringen Menge Gleitmittel¹⁵ beschickt. Die Feilen wurden nicht länger als 10 Sekunden aktiv apikalwärts in einem Kanal betrieben. Zwischen jedem Instrumentenwechsel erfolgte ein Spülvorgang mit jeweils 1,5 ml H₂O. Ein Instrumentensatz wurde in sieben Kanälen zur Aufbereitung eingesetzt, danach kam ein neuer Satz zur Anwendung. Nach abgeschlossener Bearbeitung des Kanals wurde ein auf korrekte Länge gekürzter Guttapercha-Stift¹⁶ wie bei der Aufbereitung mit MFile eingebracht.

4.7. Zeitmessung der Aufbereitung

Die für die Aufbereitung eines Wurzelkanals benötigte Zeit wurde von dem Behandler nach jeder Aufbereitung notiert. Die folgenden Arbeitsschritte wurden in die Aufbereitungszeit eingerechnet:

1. konische Erweiterung des koronalen Kanaldrittels mit den Instrumenten MF 1/30 oder IntroFile
2. Materialabtrag durch Feilenrotation
3. Instrumentenwechsel
4. Spülvorgänge
5. Beschickung der Instrumente mit Gleitmittel

4.8. Auswertung der Feilenfrakturen und -aufwindungen

Alle Feilen wurden bei 20facher Vergrößerung unter dem Auflichtmikroskop¹⁸ untersucht. Frakturierte und aufgewundene Feilen wurden zusätzlich mit dem Raster-Elektronenmikroskop¹⁹ mindestens 80fach vergrößert dargestellt und befundet. Zusätzlich wurden folgende Instrumentendaten notiert:

1. Feilentyp
2. Häufigkeit der Anwendung bis zum Auftreten der Fraktur oder der Beschädigung
3. Lokalisation der Fraktur

4.9. Bilddokumentation der aufbereiteten Wurzelkanäle

Unter 4.4. wurde die initiale Bilddokumentation jedes Prüfkörpers erläutert. Nach Bearbeitung der Kanäle wurde jeder Kanal erneut gründlich mit H₂O durchspült und in gleicher Weise digital reproduziert und gespeichert. Jedoch diente jetzt eine schwarze Pappe statt des Millimeterpapiers als Hintergrund. Die Aufnahmen wurden im jpg.-Format auf einer Chipkarte gespeichert und anschließend auf einen PC übertragen.

4.10. Beurteilung der Kanalmorphologie

Am PC wurden mittels des Bildbearbeitungsprogramms Adobe Photoshop 7.0²⁰ bei 32-facher Vergrößerung die aufbereiteten Kanäle bezüglich ihrer morphologischen Veränderung durch die Aufbereitung befundet. Folgende Aufbereitungsfehler wurden in die Beurteilung einbezogen: Elbow-, Zip- und Ledge-Konfigurationen (Abb. 1-3). Als Elbow wird eine sanduhrförmige Einengung des Kanals bezeichnet. Zip bezeichnet den gezackten Bereich der Außenkrümmung eines gekrümmten Kanals, der beim Instrumentieren durch die Feilenspitzen nah des Apex entstehen kann. Ledge bezeichnet die Bildung einer Stufe in die Kanalwand eines gekrümmten Kanals.

4.11. Bildüberlagerungen am PC

Jedes Blöckchen wurde wie unter Punkt 4.4. und 4.9. erläutert vor und nach der Kanalaufbereitung digital fotografiert. Diese Aufnahmen wurden mittels eines Bildbearbeitungsprogramms²⁰ für jeden Kanal überlagert. Dazu wurden die Bilder auf den erforderlichen Ausschnitt reduziert. Die beiden gefrästen Kreuze und die eingravierten Nummern eines Blöckchens dienten als Orientierungspunkte bei der Überlagerung (Abb. 21). Um eine möglichst ideale Überlagerung zu erzielen, konnten die Bilder bei Bedarf um wenige Grad gedreht werden. Entsprechend der Methode von *Sonntag et al.* [100] wurde anschließend eine Maske, die sechs standardisierte Messpunkte im Kanalverlauf definierte, über die Kanäle gelagert. Der 1. Messpunkt befand sich 1 mm koronal des apikalen Foramens, die anderen Messpunkte folgten jeweils in einem Abstand von 2 mm. Mit dem Auflegen der Maske auf die überlagerten Aufnahmen der Blöckchen waren somit definierte Messpunkte an den jeweils gleichen Stellen für alle Bilder vorgegeben (Abb. 21).

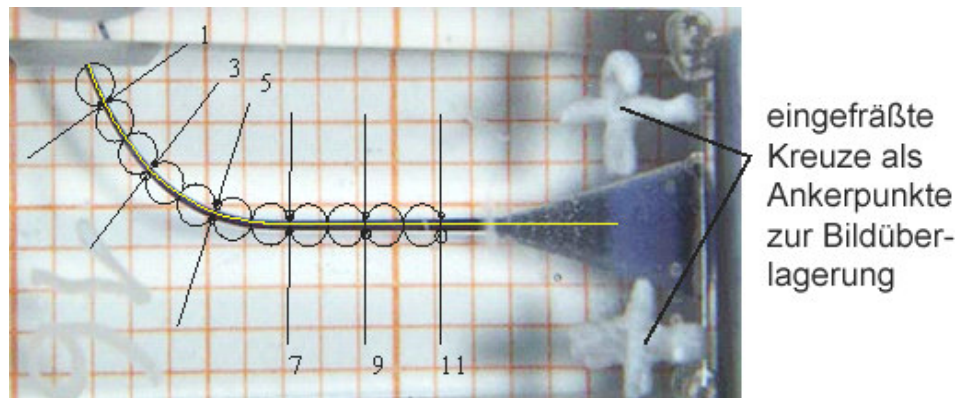


Abb. 21: Bild des Wurzelkanals vor Aufbereitung (gefüllt mit Farbstoff zur Kontrastierung) mit der Maske der 6 Messpunkte. (Angegeben sind die Distanzen der Messpunkte zum apikalen Foramen in mm.)

4.12. Beurteilung der Transportation

Die festgelegten Messpunkte befanden sich 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm, 9 mm und 11 mm koronal des apikalen Foramens. Zur Messung des durch die Wurzelkanalaufbereitung entstandenen Materialabtrags wurde die Linealfunktion von Adobe Photoshop 7.0²⁰ ausgewählt. Bei 32facher Vergrößerung wurde der Materialabtrag vom unbearbeiteten Kanal ausgehend an der Außen- und Innenkurvatur des aufbereiteten Kanals gemessen. Die Transportation wurde durch das von *Luiten et al.* vorgestellte Verfahren gemessen [58]. Als transportiert wurde ein Kanal bezeichnet, wenn der Materialabtrag an mindestens einem Messpunkt auf der Außen- oder Innenseite die Weite der gegenüberliegenden Seite mindestens um den Faktor 3 überschritt (Abb. 22).

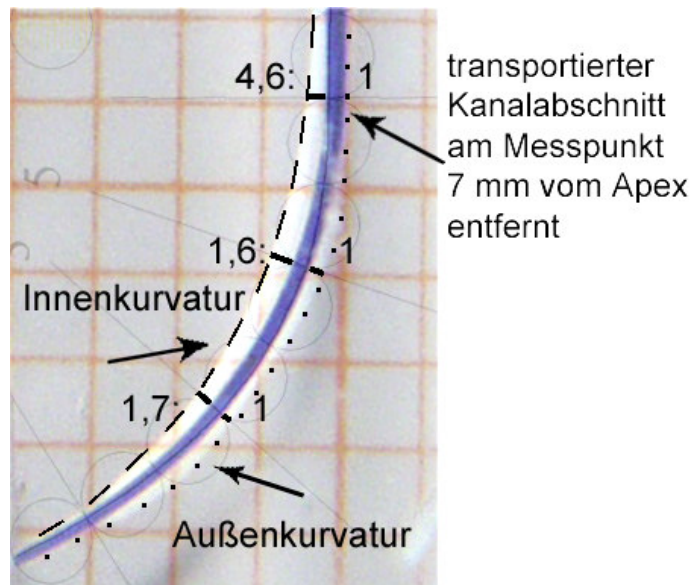


Abb. 22: Beispiel eines transportierten Kanals nach Wurzelkanalbearbeitung. Am Messpunkt 7 mm vom Apex entfernt ist die Kanalwand im Verhältnis Außen- zu Innenseite um mehr als den Faktor 3 abgetragen

4.13. Beurteilung der Aufbereitungslängen

Nach Aufbereitung der Kanäle wurden die übereinander gelagerten Bilder nach eventueller Überinstrumentierung bzw. zu kurzer Aufbereitung untersucht. Die Aufbereitungslänge wurde aufgrund des eingebrachten Masterpoints ermittelt. Die Untersuchung erfolgte bei 20facher Vergrößerung unter einem Auflichtmikroskop¹⁸. Im Okular des Mikroskops war eine Skalierung vorhanden, die eine Messung des Abstandes der Masterpoint-Spitze zum apikalen Foramen in Millimetern ermöglichte. 17,5 Teilstriche entsprachen 1 mm.

Die Aufbereitungslänge wurde in drei Kategorien eingeordnet:

- I. Masterpoint hat korrekte Länge: 0-2 mm koronal des apikalen Foramens
- II. Masterpoint ist zu kurz: > 2 mm koronal des apikalen Foramens
- III. Masterpoint ist zu lang: über das apikale Foramen hinaus reichend.

4.14. Statistische Auswertung

Die erhobenen Messdaten wurden in das Statistikprogramm SPSS 12.0²¹ eingegeben und auf Plausibilität überprüft. Statistisch getestet wurde auf Signifikanz der Gruppenunterschiede:

- 1.] die Aufbereitungszeit;
- 2.] die Frakturrate während der Aufbereitung durch FlexMaster bzw. MFile;
- 3.] die Torsionsrate der Aufbereitungsinstrumente während der Aufbereitung durch FlexMaster bzw. MFile;
- 4.] die Kanalmorphologien nach Aufbereitung durch FlexMaster bzw. MFile

Es wurden die Messdaten der intervallskalierten Werte (Transportation des Kanalverlaufs und Aufbereitungszeit) mit dem Kolmogoroff-Smirnow-Test auf Normalverteilung überprüft. Lag keine Normalverteilung vor, erfolgte die weitere Auswertung mit dem nichtparametrischen U-Test nach Mann und Whitney. Der parametrische t-Test zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben wurde angewendet, wenn eine Normalverteilung vorliegt.

Bei Auswertung der nominal bzw. ordinal skalierten Werte (morphologische Abweichungen, Aufbereitungslänge) wurde der Chi-Quadrat Test angewendet. Konnte mittels Chi-Quadrat Test ein signifikanter Unterschied festgestellt werden, erfolgte eine Spezifizierung der Einzelwerte durch die standardisierten Residuen.

<i>Irrtumswahrscheinlichkeit</i>	<i>Signifikanz</i>	<i>Bedeutung</i>
$p > 0,05$	<i>ns</i>	<i>nicht signifikant</i>
$p \leq 0,05$	*	<i>signifikant</i>
$p \leq 0,01$	**	<i>sehr signifikant</i>
$p \leq 0,001$	***	<i>höchst signifikant</i>

Tab. 3: Bedeutung der Symbolisierung und der Irrtumswahrscheinlichkeit

5. Ergebnisse

5.1. Aufbereitungszeit

Die Aufbereitungszeit wurde entsprechend der 1. Hypothese untersucht.
Sie lautet:

Die beiden untersuchten Systeme unterscheiden sich nicht bezüglich der benötigten Aufbereitungszeit für die durchschnittliche Wurzelkanalaufbereitung.

Die berechnete mittlere Aufbereitungszeit bis zum Erreichen der vollen Aufbereitungslänge betrug beim MFile-System 184 Sekunden, während die Aufbereitung beim FlexMaster-System durchschnittlich 249 Sekunden betrug. Der gemessene Zeitunterschied zwischen beiden Systemen war statistisch höchst signifikant ($p \leq 0,001$) (Abb. 23). Damit ist Hypothese 1 falsifiziert.

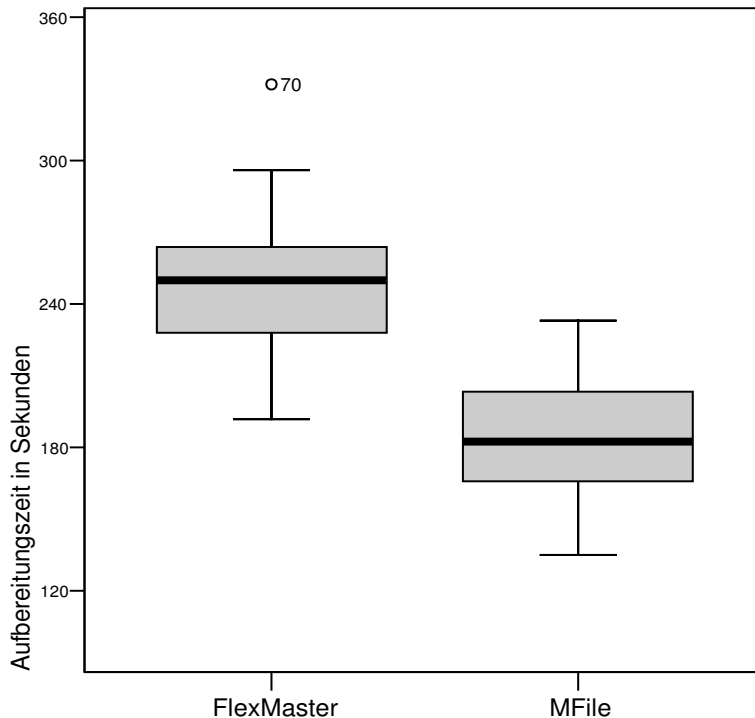


Abb. 23: Boxplot mit Darstellung der benötigten Aufbereitungszeit von FlexMaster und MFile (in Sekunden)
FlexMaster: $N = 70$, MFile: $N = 52$

5.2. Erfassung der Instrumentenfrakturen

Die Datensätze wurden in Bezug auf die 2. Hypothese untersucht. Sie lautet:

Die Frakturnraten beider Aufbereitungssysteme unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Instrumentenfrakturen traten bei der Aufbereitung mit dem FlexMaster-System nicht auf, während bei der Aufbereitung mit dem MFile-System bei 18 von 70 Kanälen eine Fraktur auftrat. (Inzidenz = 25,7%). Der Unterschied der Frakturen war statistisch höchst signifikant ($p \leq 0,001$). Damit ist Hypothese 2 falsifiziert.

Übersicht der Frakturen bei den MFiles mit Bezug zur Häufigkeit ihrer Anwendung

	Feile #1 MF1 30.06	Feile #2 MF2 30.04	Feile #3 MF3 30.02	Feile #4 MF3 35.02
1. Anwendung	-	-	-	-
2. Anwendung	-	2	1	-
3. Anwendung	-	-	1	2
4. Anwendung	-	1	-	1
5. Anwendung	-	1	4	-
6. Anwendung	-	1	2	-
7. Anwendung	-	-	2	-

Tab. 4: Inzidenz der Instrumentenfrakturen mit Bezug zur Häufigkeit ihrer Anwendung

Bei der ersten Anwendung frakturierte keine Feile. Bei der zweiten und dritten Anwendung frakturierten jeweils 3 Feilen. Dies entsprach jeweils einer Frakturnrate von 4,3%. Bei der vierten Anwendung frakturierten 2 Feilen. Dies entsprach einer Frakturnrate von 2,6%. Bei der fünften Anwendung frakturierten 5 Feilen. Dies entsprach einer Frakturnrate von 7,1%. Bei der sechsten Anwendung frakturierten 3 Feilen – entsprechend einer Frakturnrate von 4,3%. Bei der siebten Anwendung frakturierten zwei Feilen – entsprechend einer Frakturnrate von 2,6%.

Feile #1(MF1 30.06) frakturierte auch bei 7 Anwendungen nicht. Fünfmal frakturierte Feile #2 (MF2 30.04) von 14 benutzten Feilen. Am häufigsten frakturiert Feile #3 (MF3 30.02) mit 10 von 13 benutzten Feilen. Dreimal frakturierte Feile #4 (MF3 35.02) von 12 benutzten Feilen. Bei der Aufbereitung ab dem 5. Kanal traten Frakturen deutlich gehäuft auf. Die Frakturen traten bei Feile #2 (MF2 30.04) im anterioren Bereich vom Arbeitsteil – 1,0 - 2,5 mm von der Instrumentenspitze entfernt – auf (Bsp.: Abb. 24). Bei Feile #3 (MF3 30.02) und #4 (MF3 35.02) traten die Frakturen im posterioren Bereich, dem Anfang des Arbeitsteils (0,3 - 1,0 mm) auf (Bsp.: Abb. 25).

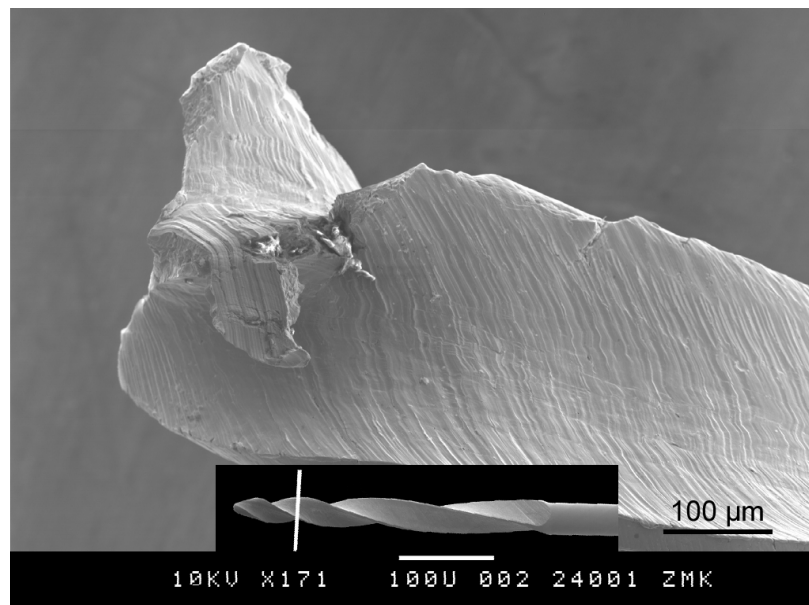


Abb. 24: Bruch einer MF2 30.04 – frakturiert bei der 2. Anwendung, ca. 1,0 mm hinter der Instrumentenspitze

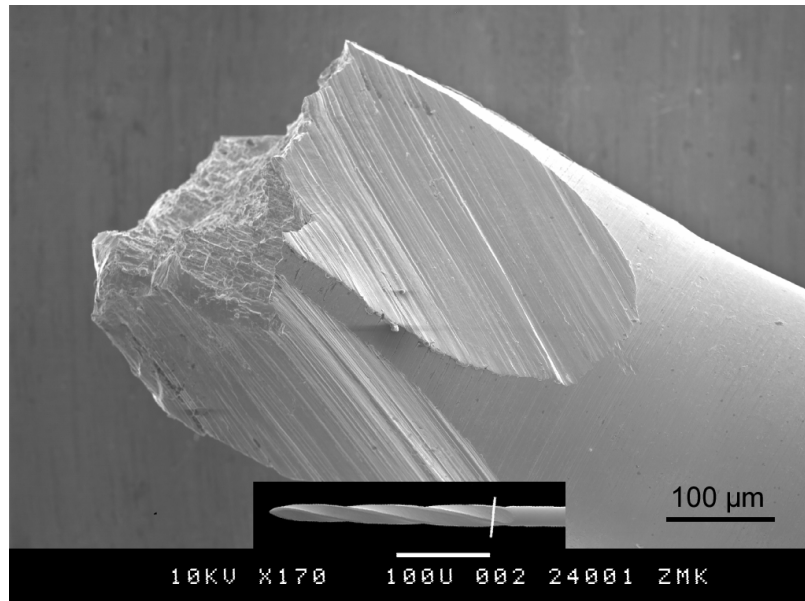


Abb. 25: Bruch einer MF3 30.02 – frakturiert bei der 6. Anwendung, ca. 0,3 mm hinter dem Schaftende

5.3. Untersuchung der Feilen auf Torsionsspuren

Die Daten wurden in Bezug auf die 3. Hypothese untersucht. Sie lautet:

Die verwendeten Instrumente weisen nach Aufbereitung von je 7 Wurzelkanälen keine Torsionsspuren oder Defekte auf.

Beim MFile-System wurden bei der Feile #2 (MF2 30.04) bis zur 7. Anwendung bei 12 von 14 Feilen Torsionsspuren entdeckt. Dies entsprach einer Häufigkeit von 85,7%. Die Torsion begann jeweils im posterioren Bereich, ab einer Entfernung von ca. 0,5 mm vom Schaftende.

Die Feile #3 (MF3 30.02) wies Torsionsspuren an 10 von 13 Feilen auf. Dies entsprach einer Häufigkeit von 76,9%. Bei dieser Feile begann die Torsion jeweils im posterioren Bereich, ab einer Entfernung von ca. 0,3 mm vom Schaftende.

Feile #4 (MF3 35.02) wies Torsionsspuren bei 6 von 12 Feilen auf. Dies entsprach einer Häufigkeit von 50%. Bei dieser Feile begann die Torsion ebenfalls im posterioren Bereich, ab einer Entfernung von ca. 0,3 mm vom Schaftende.

Die Feile MF1 30.06 wies keine Aufwindungen auf (Abb. 26).

Torsionsspuren konnten bei dem FlexMaster-System nicht beobachtet werden. Damit ist Hypothese 3 falsifiziert.

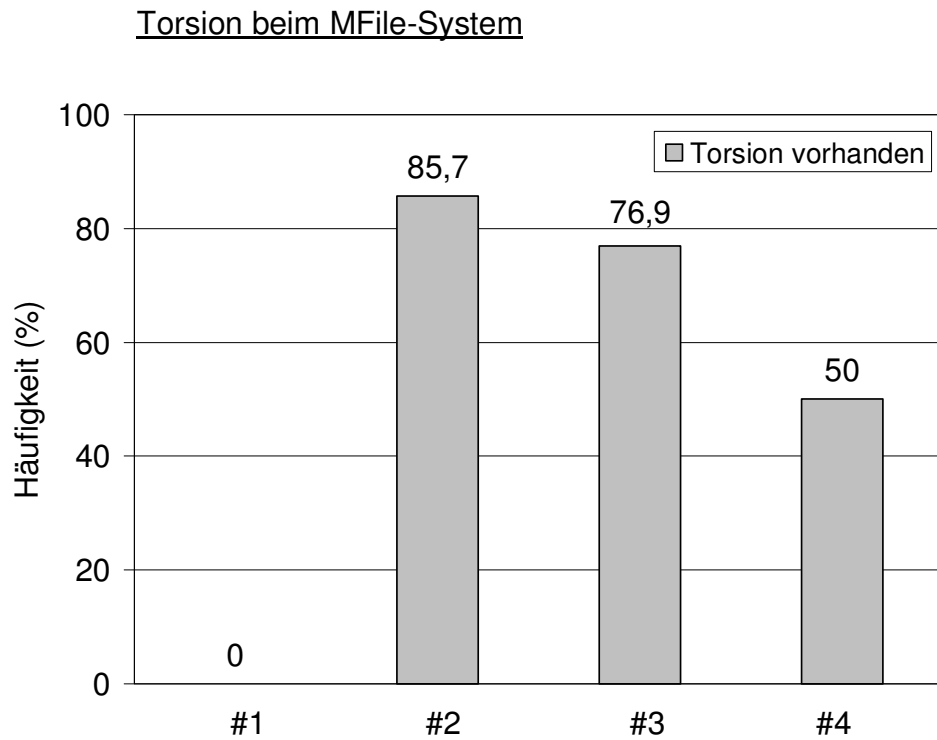


Abb. 26: Grafische Darstellung von Torsionsspuren der 4 verschiedenen MFile-Instrumententypen bei maximal 7 Anwendungen pro Instrument.

Nachfolgend sind Beispiele von tordierten Feilen abgebildet (Abb. 27-29).

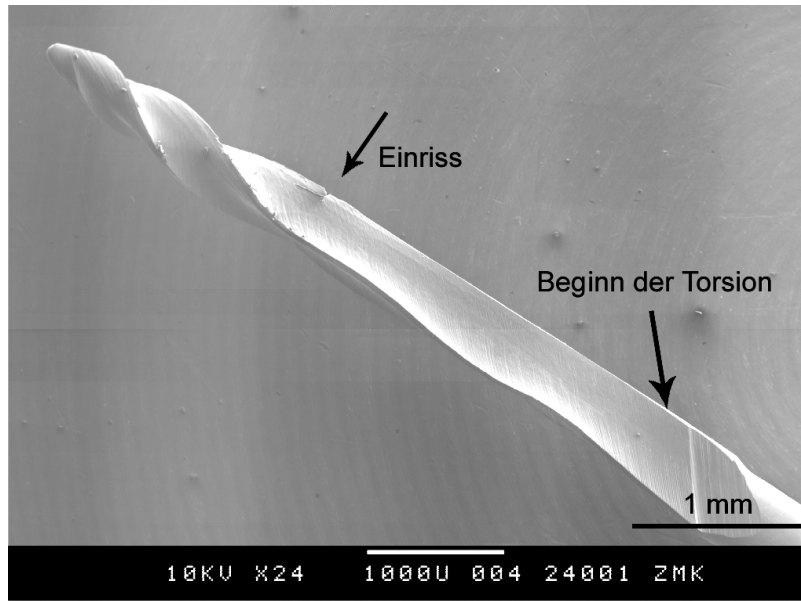


Abb. 27: *Beispiel Nr. 1 einer Feile MF2 30.04 mit extremen Torsionsspuren nach sieben Anwendungen*

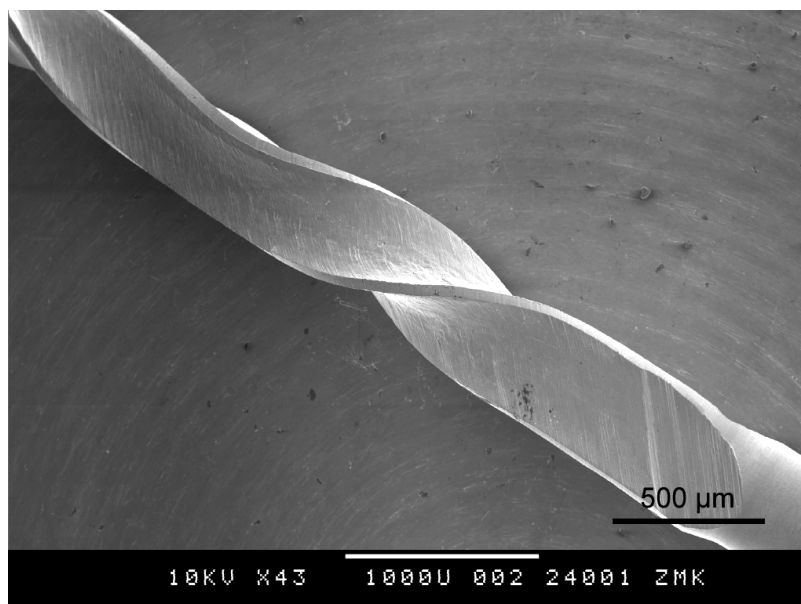


Abb. 28: *Beispiel Nr. 2 einer Feile MF2 30.04 mit extremen Torsionsspuren nach sieben Anwendungen*

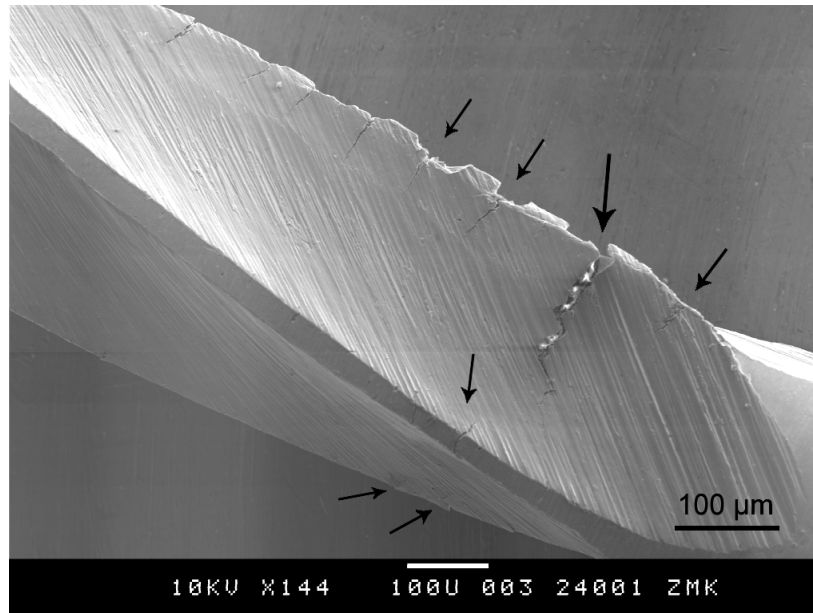


Abb. 29: *Beispiel Nr. 3 einer Feile MF2 30.02 mit einem Einriss im posterioren Bereich des Arbeitsteils nach sieben Anwendungen*

5.4. Evaluation der aufbereiteten Kanäle

5.4.1. Veränderungen der Kanalmorphologie mit Artefakten und Untersuchung der Transportation

Die Datensätze wurden in Bezug auf die 4. Hypothese untersucht. Sie lautet:

Mit beiden Systemen wird durch die Bearbeitung die originäre Form des Kanalverlaufs beibehalten.

Artefakte in der Kanalmorphologie durch die Aufbereitung im Sinne einer Zip- oder Ledge-Bildung konnten weder beim MFile-System noch beim FlexMaster-System beobachtet werden. Elbow-Konfigurationen traten bei der Aufbereitung mit dem FlexMaster-System in 21,4% der Kanäle auf. Bei Verwendung des MFile-Systems entstand in 48,1% der Aufbereitungen eine Elbow-Konfiguration. Der Unterschied war statistisch sehr signifikant ($p \leq 0,01\%$) (Tab. 5).

Transportation durch die Kanalaufbereitung konnte sowohl beim MFile- als auch beim FlexMaster-System beobachtet werden. An den Messpunkten, die 1 mm, 3 mm und 11 mm vom Apex entfernt lagen, waren keine Transportationen zu erkennen. An den Messpunkten, die 5 mm und 9 mm vom Apex entfernt lagen, waren bei weniger als 3% der Kanäle Transportationen zu beobachten. Hier waren die Unterschiede nicht signifikant. Am Messpunkt 7 mm vom Apex entfernt entstanden bei der Aufbereitung mit dem MFile-System Transportationen in 45,7% der Kanäle. Beim FlexMaster-System wurden hier 81,4% der Kanäle transportiert (Tab. 6). Der Unterschied war an diesem Punkt statistisch höchst signifikant ($p \leq 0,001\%$). Die 4. Hypothese ist damit falsifiziert.

In der folgenden Abbildung sind die Ergebnisse graphisch dargestellt (Abb. 30).

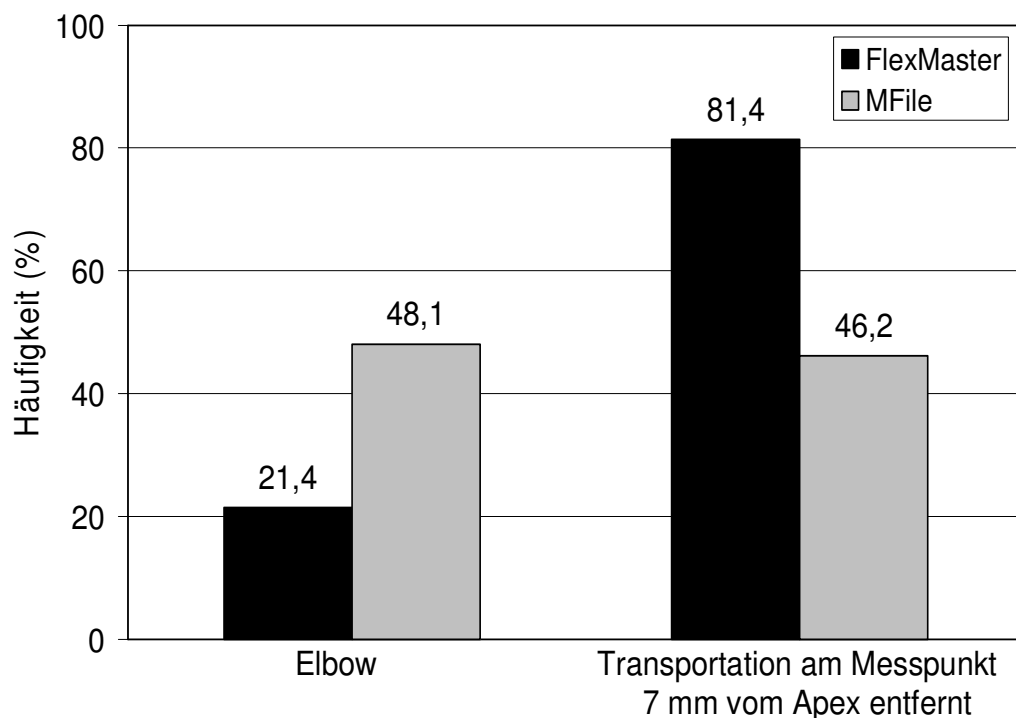


Abb. 30: Prozentuale Verteilung von Elbow-Konfigurationen und Transportation bei Aufbereitung mit FlexMaster und MFile

Art des Aufbereitungsfehlers	Irrtums- wahrscheinlichkeit	Signifikanz
Elbow	$p \leq 0,01$	**
Zip	$p > 0,05$	ns
Ledge	$p > 0,05$	ns

Tab. 5: Signifikanz bezüglich der Aufbereitungsfehler nach Aufbereitung mit FlexMaster und MFile in Bezug auf Elbow-, Zip-, und Ledge-Konfigurationen

Laufende Messpkt.- Nr.	Distanz Messpunkt - Foramen	Transportierte Kanäle durch FlexMaster	Transportierte Kanäle durch MFile	Irrtumswahr- scheinlichkeit u. Signifikanz
1.	1 mm	0%	0%	$p > 0,05$ ns
2.	3 mm	0%	0%	$p > 0,05$ ns
3.	5 mm	2,9%	0%	$p > 0,05$ ns
4.	7 mm	81,4%	46,2%	$p \leq 0,001$ ***
5.	9 mm	1,4%	1,4%	$p > 0,05$ ns
6.	11 mm	0%	0%	$p > 0,05$ ns

Tab. 6: Verteilung der transportierten Kanäle nach Aufbereitung mit dem FlexMaster- bzw. dem MFile-System

5.4.2. Abhängigkeit der Transportation von der Aufbereitungszeit

Ein Zusammenhang zwischen der Aufbereitungszeit und einer dadurch zunehmenden Transportation war beim FlexMaster-System nicht zu erkennen. Dies konnte jedoch bei den MFiles beobachtet werden. Je länger die Aufbereitungszeit dauerte und damit ein Instrument im Kanal rotierte, umso höher wurde die Wahrscheinlichkeit einer Transportation an Messpunkt 7 mm vom Apex entfernt.

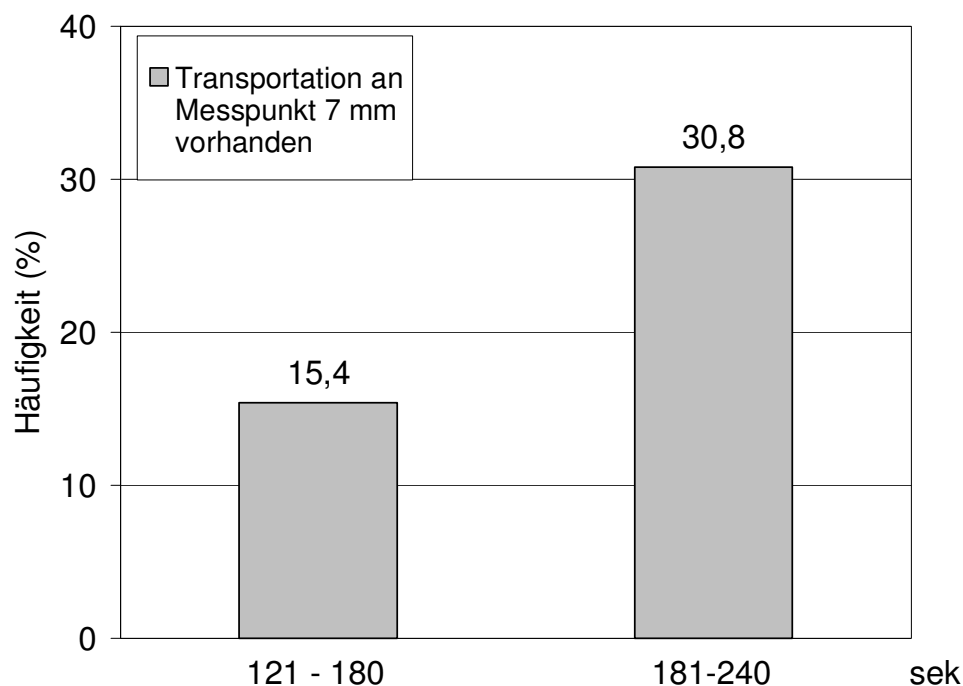


Abb. 31: Transportation 7 mm vom Apex entfernt in Abhängigkeit zur Aufbereitungszeit bei den MFiles

5.4.3. Auswertung der Aufbereitungslänge

Die Prüfung der Aufbereitungslänge wurde durch individuell vermessene Guttapercha-Stifte der Größe ISO 35/.02 vollzogen. Diese Größe entsprach der ISO-Größe des letzten Instrumentes auf voller Arbeitslänge von 18 mm.

Die Guttapercha-Stifte wurden bis zum apikalen Stopp vorgeschoben. Die Distanz der Spitze bis zum Apex wurde gemessen.

Nach Aufbereitung der Kanäle mit dem FlexMaster-System wiesen 95,7% der Guttapercha-Stiftspitzen eine korrekte Distanz zum apikalen Foramen auf (Toleranzbereich: 0-2 mm). Nach Aufbereitung mit dem MFile-System hatten 100% der Guttapercha-Stiftspitzen eine korrekte Entfernung von 0-2 mm zum Apex. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$). Bei den verbleibenden 4,3% der Kanäle, die mit dem FlexMaster-System bearbeitet wurden, hatten die vorgeschobenen Guttapercha-Stiftspitzen eine vergrößerte Distanz zum apikalen Foramen (> 2 mm) (Abb. 32).

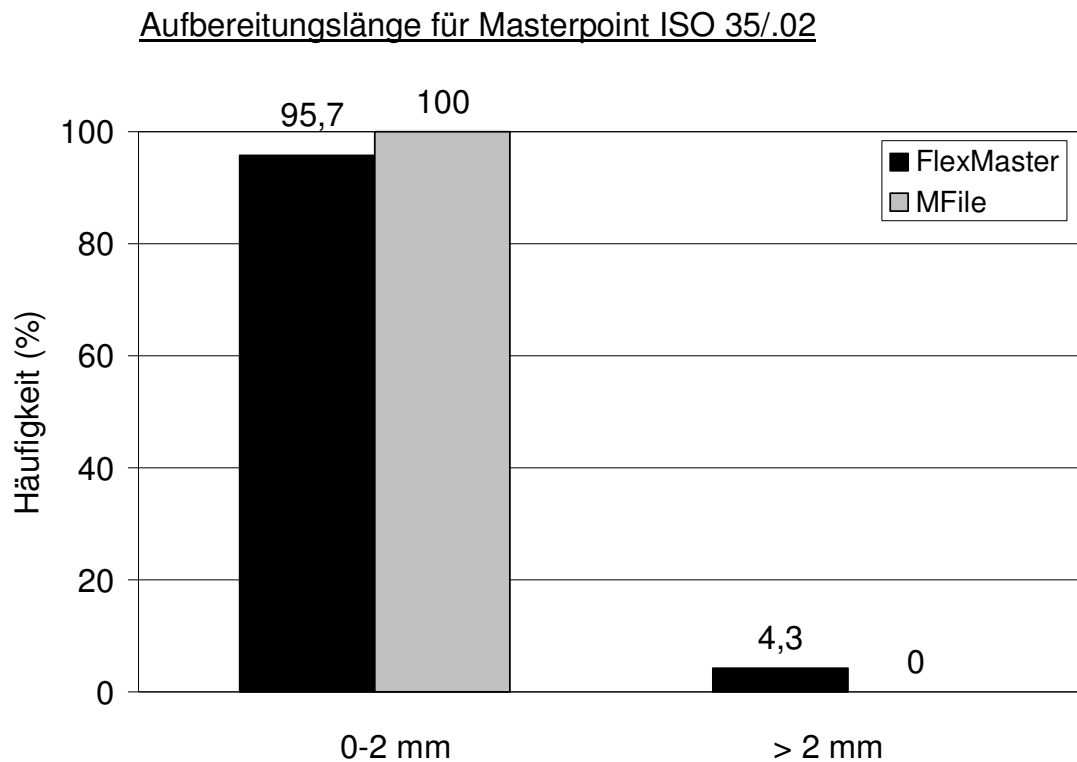


Abb. 32: Verteilung der Aufbereitungslänge in Kategorien nach der Distanz zum apikalen Foramen gemessen mit einem Masterpoint der ISO-Größe 35/.02

6. Diskussion

6.1. *Material und Methode*

6.1.1. Auswahl der Aufbereitungsinstrumente

Wenn neue Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung entwickelt werden, um die Aufbereitungsergebnisse zu optimieren und die Behandlung ökonomischer zu gestalten, sollten diese mit marktüblichen, bereits getesteten Systemen verglichen werden. Das MFile-System war 2003 neu auf dem Dentalmarkt erschienen. Es lag zu Beginn der Studie lediglich eine wissenschaftliche Arbeit von *Stoll et al.* vor [104]. FlexMaster-Instrumente wurden zum Vergleich herangezogen, da diese bereits in mehreren Studien evaluiert worden waren [101, 89, 40, 102].

Für die Anwendung rotierender Ni-Ti-Feilen werden aus Gründen der Anwendungssicherheit drehmomentbegrenzte Schrittmotoren empfohlen. Bei Drehmomentwerten < 1 Ncm können bereits Frakturen auftreten [106]. Aufgrund erhöhter Frakturraten wurden inzwischen „Low torque control“-Motoren empfohlen, bei denen für jede Feile individuell angepasste Drehmomentgrenzen definiert wurden, um das Frakturrisiko zu minimieren [35, 36].

Zur Aufbereitung mit dem MFile-System wurde der S.E.T. Endostepper gewählt. Dieser Motor wurde vom Hersteller der Feilen empfohlen (s. Seite 95) und auch von *Stoll et al.* als Motor gewählt [104].

FlexMaster-Feilen wurden mit dem IT control Motor angetrieben. Dieser wurde vom Hersteller empfohlen (s. Seite 89 und 93). Die Feilen wurden jeweils entsprechend ihrer Drehmomentbegrenzung belastet.

6.1.2. Auswahl des Studienmodells

In-vitro-Untersuchungen zur Kanalaufbereitung werden an Kunststoffprüfkörpern und an extrahierten Zähnen durchgeführt [46]. Kanäle extrahierter Zähne unterscheiden sich zum Teil stark untereinander [85]. Kanäle in künstlichen Probekörpern ermöglichen eine Standardisierung hinsichtlich Kanallänge, -durchmesser, -geometrie und Krümmungsradius [120, 112]. Somit ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse eher zu erreichen [81].

Im Vergleich zum Wurzeldentin weisen Kunststoffe unterschiedliche Materialeigenschaften wie Härte und Zerspanungseigenschaften auf. Erkenntnisse aus Studien mit Kunststoffprüfkörpern können deshalb nur unter Vorbehalt auf klinische Situationen übertragen werden. Vergleichende Untersuchungen zur Aufbereitung künstlicher und natürlicher Wurzelkanäle bestätigten jedoch, dass trotz geringerer Härte der Kunststoffe, Studien an künstlichen Kanälen ein hinreichend valides Modell für experimentelle Untersuchungen zur Aufbereitung von Wurzelkanälen darstellen [57].

Stark gekrümmte Wurzelkanäle stellen ein erhöhtes Frakturrisiko dar. Ziel dieser Studie ist die Anwendungssicherheit von Feilensystemen zu überprüfen.

Als Werkstoff dienen in vielen Studien durchsichtige Kunststoffe. Während der Bearbeitung können die Kanäle eingesehen werden und eine ständige visuelle Kontrollmöglichkeit ist gegeben [6, 101]. Um wie bei natürlichen Zähnen während der Wurzelkanalbearbeitung den Kanal nicht einsehen zu können, haben andere Behandler die Prüfkörper abgeklebt [85]. In unserer Studie wurden die Kunststoffprüfkörper - eingebettet in Silikon - in eine schwarze, handelsübliche Fotodose gesetzt (Abb. 18, Abb. 19). Nur die Kanalöffnung war einsehbar. Diese Methode wurde vormals von *Sonntag et al.* angewendet [100].

Die meisten vergleichenden Studien beziehen sich auf zwei, manchmal drei verschiedene Aufbereitungssysteme. Um eine breitere Vergleichbarkeit von Ergebnissen zu erhalten, können mehrere Systeme in einer Studie verglichen werden wie dies auch schon bei *Dummer et al.* [28], *Hülsmann et al.* [44], *Peters et al.* [72] und *Schäfer et al.* [88] geschieht [45, 48]. Um erste

wissenschaftliche Ergebnisse über neu auf dem Dentalmarkt erschienene Systeme zu erhalten ist dieser Aufwand jedoch nicht notwendig. Für weiterführende Untersuchungen ist dieser Studienansatz jedoch zu berücksichtigen.

6.1.3. Randomisierung

Um systematische Fehler zu vermeiden, wurden die nummerierten Kunststoffprüfkörper mit Hilfe eines Zufallsgenerators zu Gruppen sortiert. Die ersten sieben Blöckchen wurden mit dem FlexMaster-System, die nächsten sieben Blöckchen mit dem MFile-System bearbeitet. Per Zufallsgenerator war bestimmt worden, mit welchem System begonnen wurde. Durch das wiederholte Wechseln der Systeme stieg der Erfahrungswert des Behandlers in maschineller Kanalaufbereitung mit beiden Systemen parallel. Wenn alle 70 Kanäle zuerst mit dem einen System aufbereitet worden wären, hätte der Behandler beim zweiten System einen höheren Erfahrungswert in maschineller Kanalaufbereitung gehabt. Dies sollte vermieden werden. Die Sequenz von 7 nacheinander folgenden Aufbereitungen pro System war vorher definiert worden. Dies erschien sinnvoll, da nach sieben Anwendungen die Feilen ausgetauscht wurden, wenn nicht zuvor schon ein Instrument frakturiert war.

6.1.4. Aufbereitung mit MFile-Instrumenten

Um bessere Aufbereitungsergebnisse zu erzielen, wird empfohlen das koronale Wurzelkanaldrittel mit Gates-Glidden-Bohrern konisch zu erweitern bevor der mittlere und apikale Abschnitt des Wurzelkanals bearbeitet wird [56, 24]. In der vorliegenden Studie lagen die Kanaleingänge der Probekörper bereits konisch erweitert vor. Dadurch konnte auf eine zusätzliche Erweiterung mit Gates-Glidden-Bohrern verzichtet werden. Für die Feile MF1 30.06 war somit ein direkter Zugang zum geraden Anteil im koronalen Kanaldrittel gewährleistet.

Laut Herstellerangaben sollten Kanäle mit einem Neigungswinkel nach Schneider größer 30° nicht bearbeitet werden. In der vorliegenden Studie wurden Kanäle mit stärkerem Krümmungsradius von 40° bearbeitet. Die Erhöhung der Drehmomentwerte wurde trotz des stärkeren Krümmungsradius vorgenommen, da dies den Herstellerangaben zur Übung an Kunststoffprobekörpern entsprach (s. Seite 101). Eine erhöhte Frakturgefahr wurde damit angenommen. Die Feilen sollten diesen Belastungsherausforderungen ausgesetzt werden, um praxisrelevante Ergebnisse zu erzielen. Des weiteren überstieg die Anwendungshäufigkeit der Feilen in sieben Kanälen die Herstellerangaben. Diese empfehlen eine Anwendungshäufigkeit von 1-3 Kanälen. Bei größerer mechanischer Belastung sollten die Instrumente nach einmaliger Anwendung ausgesondert werden (s. Seite 102). Die häufigere Anwendung der Feilenbenutzung entsprach dem Studienmodell von *Stoll et al.*, der ebenfalls sieben Anwendungen pro Instrument testete [104].

6.1.5. Aufbereitung mit FlexMaster-Instrumenten

Bei der Aufbereitung mit dem FlexMaster-System wurde ebenfalls auf ein Preflare mit Gates-Glidden-Bohrern verzichtet, da die Kanaleingangs-darstellung vorgegeben war. Das obere, gerade Kanaldrittel wurde mit der IntroFile bearbeitet, die einen Taper von .11 aufweist. Diese erlaubt eine schnelle und konische Präparation des geraden koronalen Kanaldrittels [102]. Die Instrumente wurden ebenfalls mit einem EDTA-haltigen Gleitmittel vor der Bearbeitung beschickt. Die weitere Aufbereitung der Kunststoffprüfkörper erfolgte entsprechend der Herstellerangaben für weite Kanäle, die Erweiterung der apikalen Konstriktion erfolgte entsprechend der Herstellerangaben für enge Kanäle (s. Seite 90f).

6.1.6. Zeitmessung

Die Aufbereitungszeit wurde in Sekunden gemessen. Inbegriffen waren Spülvorgänge, das Wechseln der Feilen und die Beschickung der Instrumente mit Gleitmittel.

6.1.7. Auswertungen

Die bearbeiteten Prüfkörper wurden in zufälliger Reihenfolge ausgewertet. Zuvor war der Untersucher durch Vorversuche und Bildbeispiele auf die Auswertungskriterien vorbereitet worden. Die Codierungsliste war zum Zeitpunkt der Auswertung dem Untersucher nicht zugänglich, so dass von den eingefrästen Nummern keine Rückschlüsse auf eines der beiden angewendeten Systeme geschlossen werden konnte. Das Studiendesign hatte hiermit eine ausreichende Verblindung.

6.1.7.1. Auswertung der Instrumentenfrakturen und -aufwindungen

Nachteilig bei maschineller Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti-Feilen scheint eine erhöhte Frakturgefahr im Vergleich zur manuellen Aufbereitung zu sein [74, 26, 9]. Innerhalb der vom Hersteller angegebenen Belastungsgrenzen treten plötzliche Torsions- oder Ermüdungsfrakturen auf, ohne dass vorher visuell erkennbare Veränderungen der Ni-Ti-Feilen zu erkennen sind [80, 122, 123, 69]. In ihrer Übersichtsarbeit beobachten *Parashos und Messer*, dass die Verbreitung von frakturierten, im Wurzelkanal belassenen Handfeilen (meistens Edelstahl-Feilen) bei etwa 1,6% liegt. Die mittlere klinische Frakturnrate von Ni-Ti-Instrumenten liegt bei etwa 1%. Die Frakturhäufigkeit von rotierenden Ni-Ti-Instrumenten ist demnach sogar geringer als die von Edelstahl-Handfeilen [70].

Die Frakturwahrscheinlichkeit vollrotierender Ni-Ti-Feilen ist abhängig vom Kanaldurchmesser, der Querschnittsform, der Kanalkrümmung, dem Instrumentenquerschnitt, der ISO-Größe und der Gebrauchsdauer eines Instruments, sowie weiteren Faktoren [74, 110, 26, 80, 124, 70].

Zur Verringerung des Frakturrisikos wird beispielsweise das Anlegen eines Gleitpfads bis zur Größe ISO 15 mit Handinstrumenten empfohlen [71].

Zur Verringerung der präparationsbedingten Schmierschicht und der Reibungswärme, wurde vor der Bearbeitung jede Feile mit einem Gleitmittel beschickt, wie es beispielsweise von *Gressmann und Hülsmann* empfohlen wird [38]. Auch in der Studie von *Stoll et al.* wurden die Instrumente mit einem EDTA-haltigen Gleitmittel versehen [104]. In neueren Studien wurde jedoch berichtet, dass EDTA-haltige Gleitmittel die Bildung einer Schmierschicht nicht vermeiden [47]. Es wurde beobachtet, dass polyethylenglycol-basierte Gleitmittel die physikalische Belastung auf das rotierende Instrument nicht verringern [73, 126].

In der vorliegenden Studie wurde ein Gleitmittel verwendet, da es den Herstellerangaben entsprach (s. Seite 92 und 99) und auch zu Beginn der Versuche dem aktuellen Stand der Wissenschaft entsprach.

6.1.7.2. Beurteilung der Kanalmorphologie

Zur Ermittlung der Ergebnisqualität verschiedener Aufbereitungssysteme hat es sich bewährt, Wurzelkanäle auf das Vorliegen typischer Aufbereitungsfehler zu untersuchen [58, 87].

Stark gekrümmte Wurzelkanäle sind bei der Kanalaufbereitung besonders anfällig für das Auftreten von Aufbereitungsfehlern [119].

Besonders in Bereichen des apikalen Kanaldrittels kommt es zu einem verstärkten und unkontrollierbaren Materialabtrag an der Außenkurvatur des Wurzelkanals, was die Entstehung charakteristischer Aufbereitungsfehler nach sich zieht. Dies ist bedingt durch die Rückstellkraft der in gekrümmte Wurzelkanalabschnitte vorgeschobenen Aufbereitungsinstrumente [116]. Neben Verlusten der Arbeitslänge und Kanalperforationen, sind besonders häufig die Entstehung von Trichter- (Zip) oder Sanduhrformen (Elbow) in Apexnähe oder die Bildung einer Stufe (Ledge) zu beobachten [119]. Die bearbeiteten Kanäle wurden in unserer Studie auf diese Aufbereitungsfehler hin untersucht.

6.1.7.3. Beurteilung der Transportation

Quantitativer Materialabtrag an Kunststoffprüfkörpern wurde bereits in mehreren Studien durch digitale Bildüberlagerung erfolgreich gemessen [82, 15, 84, 86].

Dabei ist die Anfertigung digitaler oder digitalisierter Bilder der Wurzelkanäle vor und nach Aufbereitung notwendig. Zur Fixierung der Probekörper empfehlen mehrere Autoren die Verwendung von Positionierungshilfen, die eine reproduzierbare Ausrichtung der Wurzelkanäle zur Bildebene erlauben. So soll eine Erhöhung der Messgenauigkeit erzielt werden [27, 10].

Industriell hergestellte künstliche Wurzelkanäle sind nur in einer Ebene des Raumes gekrümmt. Deshalb empfehlen mehreren Autoren, die Untersuchungen auf eine zweidimensionale Auswertung der aufbereitungsbedingten Materialabträge zu beschränken. Dabei muss die Betrachtungsebene so ausgerichtet sein, dass sie parallel zur Krümmungsebene der Kanäle liegt. So können optische Verzerrungen vermeiden werden [10, 82, 15, 86, 87].

In der vorliegenden Untersuchung konnten durch digitale Bildüberlagerungen und eine 32fache Vergrößerung die Materialabträge mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,016$ mm bestimmt werden. Die Pixelzahl der digitalen Bilddateien bildete dabei den limitierenden Faktor bezüglich der Messgenauigkeit. In anderen Studien wurden Materialabträge in künstlichen Wurzelkanälen mittels digitaler Bilddateien bei 40facher Vergrößerung ermittelt, bei einer angegebenen Messungenauigkeit von $\pm 0,01$ mm [86, 87]. *Svec & Wang* machten in einer ähnlichen Untersuchung diesbezüglich keine Angaben [105]. In natürlichen Wurzelkanälen ermittelten *Luiten et al.* Materialabträge anhand digitalisierter Röntgenaufnahmen bei 40facher Vergrößerung bei einer Messungenauigkeit von $\pm 0,02$ mm [58].

Transportation bezeichnet den asymmetrischen Materialabtrag, der zu Abweichungen vom originären Kanalverlauf führt. Um künstliche Wurzelkanäle bezüglich aufbereitungsbedingter Transportationen zu untersuchen, beschrieben *Svec & Wang* ein Verfahren, in dem maximal zwei Messpunkte pro Kanal untersucht wurden [105]. *Luiten et al.* führten ein Verfahren ein, Wurzelkanäle an beliebigen Messpunkten auf das Vorliegen

von Transportationen hin zu untersuchen [58]. Das Beurteilen der Materialabträge an sich gegenüberliegenden Kanalseiten erlaubt eine Aussage darüber, ob ein Wurzelkanal an einem Messpunkt als transportiert zu bezeichnen ist oder nicht. In der vorliegenden Studie wurde mit dem Verfahren nach *Luiten* gearbeitet, da mehr als zwei Messpunkte untersucht werden konnten. Dieses Verfahren versprach eine erweiterte Aussagekraft der Ergebnisse.

6.1.7.4. Beurteilung der Aufbereitungslänge

Die Aufbereitungslängen wurden in drei Kategorien klassifiziert. Dies basierte auf der Erkenntnis, dass die Wahrscheinlichkeit eines Therapieerfolges bei infizierten Wurzelkanälen am höchsten ist, wenn die Wurzelfüllung 0 mm bis 2 mm vor dem röntgenologischen Apex endet. Sind Wurzelfüllungen mehr als 2 mm vom röntgenologischen Apex entfernt, sind die Therapieerfolgsraten geringer. Über den Apex hinausreichende Wurzelfüllungen lassen den geringsten Therapieerfolg erwarten [97, 93, 121]. *Sonntag et al.* benutzten zur Bestimmung der erreichten Aufbereitungslänge die Distanz von eingebrachten Guttapercha-Stiftspitzen zum Apex. Die ISO-Größe des Guttapercha-Stiftes entsprach der ISO-Größe der zuletzt benutzten Feile, mit der der apikale Bereich des Kanals bearbeitet wurde [100]. Der Gebrauch einer Guttapercha-Messlehre garantierte, dass die Guttapercha-Stiftspitze der gewünschten ISO-Größe entsprach. Mit dieser wollte man apikal eine Klemmpassung erreichen.

In vergleichbaren Studien wurden stattdessen die mittleren Verluste der Arbeitslängen ermittelt [51, 86].

Dieses Vorgehen wurde in der vorliegenden Studie nicht gewählt, da über den Anteil der jeweils auf korrekter Länge aufbereiteten Kanäle in entsprechender ISO-Größe eine Aussage getroffen werden sollte.

6.2. Ergebnisse

6.2.1. Vergleich der Aufbereitungsergebnisse zwischen den MFile- und FlexMaster-Instrumenten

Kritisch zu bewerten ist die Bearbeitung der Kanäle durch einen Studierenden mit einer Erfahrung in maschineller Wurzelkanalbearbeitung von etwa 50 aufbereiteten Wurzelkanälen mit einem maschinellen System. Ein Endodontologe hätte möglicherweise andere Ergebnisse erzielt. Da ein Aufbereitungssystem jedoch nicht ausschließlich von Spezialisten sondern auch für Behandler mit weniger Erfahrung anwendbar sein soll, wurde vorliegender Studienaufbau gewählt.

6.2.1.1. Aufbereitungszeit

Mit den Ergebnissen konnte die 1. Hypothese widerlegt werden:

Die beiden untersuchten Systeme unterscheiden sich nicht bezüglich der benötigten Aufbereitungszeit für die durchschnittliche Wurzelkanalaufbereitung.

Die berechnete mittlere Aufbereitungszeit bis zum Erreichen der vollen Aufbereitungslänge betrug beim MFile-System 184 Sekunden, während die Aufbereitung mit dem FlexMaster-System durchschnittlich 249 Sekunden betrug. Der gemessene Zeitunterschied zwischen beiden Systemen war statistisch höchst signifikant ($p \leq 0,001$). Die Anzahl der verwendeten und zu wechselnden Feilen pro System wird hier der Grund sein: Das FlexMaster-System benötigte neun Feilen zur Aufbereitung, während beim MFile-Systems nur vier Feilen benötigt wurden.

6.2.1.2. Instrumentenfrakturen

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchung konnte die in der Zielsetzung formulierte 2. Hypothese nicht verifiziert werden.

Die Frakturnraten beider Aufbereitungssysteme unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Beim MFile-System, bestehend aus 4 Feilen, frakturierte in 25,7% der Kanäle eine Feile (s. Tab. 4 Seite 40). Eine Feile wurde maximal sieben Anwendungen ausgesetzt. Diese Anwendungshäufigkeit lag oberhalb der vom Hersteller empfohlenen ein bis drei Anwendungen. Auch die Anwendung der FlexMaster-Instrumente lag oberhalb der vom Hersteller empfohlenen Anwendungshäufigkeit. Bei gekrümmten Kanälen sollten diese nur 4 mal angewendet werden, bei starker Krümmung nur 2-3 mal. Gewählt wurden in dieser Studie sieben Anwendungen pro Instrument, da in einer vorherigen vergleichenden Studie von *Stoll et al.* ebenfalls sieben Anwendungen zum Vergleich gewählt wurden [104]. Bei einmaliger Anwendung traten bei den MFiles keine Frakturen auf, was den Herstellerangaben zur Anwendung in Kanälen bei größerer mechanischer Belastung entsprach (s. Seite 102).

Die FlexMaster-Instrumente frakturierten bei keiner der sieben Anwendung. Das Ergebnis unterscheidet sich von den von *Stoll et al.* erhobenen Daten. *Tsachalinas* bearbeitete mit MFiles extrahierte Molarenwurzelkanäle. Jede Feile wurde nach zwei Anwendungen verworfen. Bei Wurzelkrümmungen von 25° bis 35° frakturierte in 20,8% der Kanäle ein MFile-Instrument [113].

Ein Grund für die erhöhte Frakturnrate der MFiles in unserer Studie könnte der vergrößerte Krümmungsradius der Kanäle sein. Des weiteren wurde angenommen, dass vor der Verwendung von Feile #2 (MF2 30.04) und #3 (MF3 30.02) die Gängigkeit des Kanals wiederholt mit Handfeilen untersucht werden sollte. Das hat in der vorliegenden Studie nicht stattgefunden. Ein weiterer Grund könnte in einem unterschiedlichen Spülprotokoll der Studie liegen. Anhand der vorliegenden Datensätze ist jedoch nicht zu verifizieren, ob in anderen Studien mehr gespült wurde.

In 13 von 18 frakturierten Feilen lag die Frakturlinie im posterioren Bereich des Arbeitsteils innerhalb der ersten 1,5 mm hinter dem Schaftende (s. Bsp. Abb. 25, Seite 42). Dies traf auf die Feilen #3 (MF3 30.02) und #4 (MF3 35.02) zu, welche eine ähnliche Schneidengeometrie aufweisen. Hieraus ist zu folgern, dass die Materialdicke im Bereich des Arbeitsteiles nicht massiv genug ist. Feile #2 (MF2 30.04) frakturierte weiter anterior, 2,5 – 4,0 mm vom Schaftende (s. Bsp. Abb. 24, Seite 41).

Verschiedene Autoren beschreiben jedoch, dass Instrumente mit kleinerem Durchmesser weniger schnell Ermüdungserscheinungen aufweisen als Instrumente mit mittlerem Durchmesser [80, 103]. Diese Beobachtungen wurden bei Instrumenten mit min. 14 mm langem Arbeitsteil gemacht.

Baumann et al. und *Mandel et al.* (1999) ermittelten in experimentellen Studien zur Aufbereitung künstlicher Wurzelkanäle mit rotierenden Ni-Ti-Feilen Frakturraten von 9,4%, 15,7% bzw. 16,8% [6, 59]. Andere Autoren bestätigen die Annahme, dass gewissenhaft durchgeführter Unterricht und Behandlungserfahrung bei der Minimierung des Frakturrisikos eine Rolle spielen [5, 59, 123].

Die in künstlichen Wurzelkanälen erzeugte Reibungswärme der rotierenden Feilen kann den Kunststoff teilweise erweichen und zu Drehmomentspitzen führen [51]. Eine somit erhöhte Drehmomentbelastung kann eine Instrumentenfraktur begünstigen [6]. Um die präparationsbedingte Schmierschicht zu reduzieren und die Reibungswärme der Instrumente zu reduzieren, wurde in dieser Studie ein Gleitmittel verwendet, wie es auch in der Literatur empfohlen wurde [38]. Eine direkte Übertragung auf die klinische Situation kann aufgrund der unterschiedlichen Materialeigenschaften nur unter Vorbehalt geschehen [51, 86]. Die bei maschineller Aufbereitung natürlicher Wurzelkanäle erhobenen Frakturaten sind in nahezu allen in-vitro-Studien niedriger. Bei maschineller Aufbereitung natürlicher Wurzelkanäle mit dem ProFile-System ermittelten beispielsweise *Yared & Kulkarni* Frakturaten von 1,06% [125]. *Bergmans et al.* bestätigen, dass mit der entsprechenden Aufmerksamkeit für die benutzten Werkzeuge, Ni-Ti-Systeme sichere Arbeitsgeräte mit einer kleinen Inzidenz von Instrumentenversagen bilden. Das Phänomen der wiederholten

Metallermüdung und die provozierte Drehmomentüberbelastung von Instrumenten stellen jedoch zwei wichtige Faktoren für Instrumentenfrakturen dar [9].

6.2.1.3. Torsionsspuren an den Feilen

Durch die Studie konnte die 3. Hypothese nicht bestätigt werden:

Die verwendeten Instrumente weisen nach Aufbereitung von je 7 Wurzelkanälen keine Torsionsspuren oder Defekte auf.

Beim MFile-System wurden bei der Feile #2 (MF2 30.04) bis zur 7. Anwendung bei 12 von 14 Feilen Torsionsspuren entdeckt. Dies entsprach einer Häufigkeit von 85,7%. Die Torsion begann jeweils im posterioren Bereich, ab einer Entfernung von ca. 0,5 mm vom Schaftende (Bsp. Abb. 28, Seite 44). Die Feile #3 (MF3 30.02) wies Torsionsspuren an 10 von 13 Feilen auf. Dies entsprach einer Häufigkeit von 76,9%. Bei dieser Feile begann die Torsion jeweils im posterioren Bereich, ab einer Entfernung von ca. 0,3 mm vom Schaftende (Bsp. Abb. 29, Seite 45). Feile #4 (MF3 35.02) wies Torsionsspuren bei 6 von 12 Feilen auf. Dies entsprach einer Häufigkeit von 50%. Bei dieser Feile begann die Torsion ebenfalls im posterioren Bereich, ab einer Entfernung von ca. 0,3 mm vom Schaftende. Die Feile MF1 30.06 wies keine Aufwindungen auf. Torsionsspuren konnten bei dem FlexMaster-System nicht beobachtet werden. *Turpin et al.* verglichen Instrumente mit unterschiedlichen Querschnittsprofilen. Sie ermittelten, dass Instrumente mit einer dreifachen Verbindungslinie von Schneidekante zu Schneidekante, wie sie die Feile MF2 30.04 aufweist (s. Abb. 13, Seite 26), wesentlich geringere Resistenz zu Torsion haben, als Instrumente mit einer S-förmigen Verbindungslinie von Schneidekante zu Schneidekante, wie sie bei Instrument MF1 30.06 zu finden ist (s. Abb. 11, Seite 25) [114]. In unserer Studie wurde der gekrümmte Kanalbereich bei den MFiles ausschließlich durch Instrumente mit konkaven Verbindungslinien von Schneidekante zu Schneidekante bearbeitet. Die Schneidekantengeometrie könnte Grund für die zum Teil starken Torsionen sein.

6.2.1.4. Kanalmorphologie

Durch die Studie konnte die 4. Hypothese falsifiziert werden.

Mit beiden Systemen wird durch die Bearbeitung die originäre Form des Kanalverlaufs beibehalten.

Eine Veränderung der Kanalgeometrie durch die Aufbereitung im Sinne einer Zip- oder Ledge-Bildung konnten weder durch das MFile-System noch durch das FlexMaster-System beobachtet werden. Elbow-Konfigurationen traten bei der Aufbereitung mit den MFiles in 48,1% der Kanäle auf. Bei Verwendung des FlexMaster-Systems entstand in 21,4% der Aufbereitungen eine Elbow-Konfiguration. Der Unterschied war statistisch sehr signifikant ($p \leq 0,01\%$). *Stoll et al.* hatten keinen signifikanten Unterschied bzgl. Artefakten an der Kanalwand feststellen können [104].

Da Elbow-Konfigurationen bei den MFiles im apikalen Drittel, 2-4 mm vom Apex entfernt auftraten, liegt der Verdacht nahe, dass entweder Feile #3, (MF3 30.02) Feile #4 (MF3 35.02) oder beide Feilen dafür verantwortlich waren. Ausschließlich diese Feilen bearbeiteten jenen Teil des Wurzelkanals. Ob Materialeigenschaften, Schneidengeometrie, Arbeitslänge der Feile oder andere Bearbeitungsparameter modifiziert werden könnten, um die Bearbeitungsergebnisse zu optimieren, müssten Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Auch beim FlexMaster-System traten Elbow-Konfigurationen im apikalen Drittel auf. Besonders die letzten vier Feilen mit einer Konizität von .02 bearbeiten diesen Abschnitt. Aber auch die Feilen ISO 30/.04 und 20/.06 können diesen Bereich tangieren. Auf eine genaue Einhaltung der vom Hersteller angegebenen Anwendungszeit der Instrumente ist zu achten.

6.2.1.5. Transportation der Kanäle

Transportationen durch die Kanalaufbereitung konnten sowohl beim MFile- als auch beim FlexMaster-System beobachtet werden. An den Messpunkten, die 5 mm und 9 mm vom Apex entfernt lagen, waren bei weniger als 3% der

Kanäle Transportationen zu erkennen. Hier waren die Unterschiede nicht signifikant. Am Messpunkt 7 mm vom Apex entfernt wurden durch die Aufbereitung mit den MFiles 45,7% der Kanäle transportiert. Bei dem FlexMaster-System entstand dort in 81,4% der Kanäle eine Transportation. Der Unterschied war an diesem Punkt statistisch höchst signifikant ($p \leq 0,001\%$).

Begründung für eine erhöhte Transportation an diesem Messpunkt, der direkt am oberen Beginn der Kurvatur liegt, ist in der größeren Feilensequenz der FlexMaster-Instrumente zu suchen. Dieser Bereich des Kanals wurde bei den MFiles vornehmlich von der Feile #2 bearbeitet. Feile #3 und #4 glitten über diesen Bereich hinweg, bearbeiteten ihn jedoch kaum.

Beim FlexMaster-System wurde dieser Bereich jedoch von allen acht Feilen bearbeitet, da jede Feile ein Arbeitsteil von 16 mm hat.

6.2.1.6. Aufbereitungslänge

Es konnte kein signifikanter Unterschied bei der Aufbereitung mit den MFile- und den FlexMaster-Instrumenten festgestellt werden. In lediglich drei von 70 aufbereiteten Kanälen konnte der geeichte Guttapercha-Stift nicht auf die Länge eingebracht werden, dass die Stiftspitze im Tolleranzbereich von 0-2 mm vom Apex entfernt lag. *Weiger et al.* machten ähnliche Beobachtungen und stellten bei der Aufbereitung mit FlexMaster-Instrumenten lediglich in einem Fall eine Verringerung der Arbeitslänge fest [118]. *Schäfer & Lohmann* bescheinigen FlexMaster-Feilen einen generell guten Erhalt der Arbeitslänge [86].

6.3. Schlussfolgerung

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Eine Frakturnrate von über 25%, die bei den MFile-Instrumenten #2, #3 und #4 ab der zweiten bis zur siebten Anwendung auftrat, zeigt, dass die Instrumente in gekrümmten künstlichen Wurzelkanälen bis an ihre Bruchgrenze beansprucht werden. Ihre mehrfache Anwendung in gekrümmten Kanälen ist kritisch, der Hinweis zur Einmalanwendung ist begründet - der diesbezügliche Verwendungshinweis des Herstellers also einzuhalten.
- Zur Überprüfung der Anwendungssicherheit neu entwickelter Systeme sind zur anforderungsgerechten Optimierung in-vitro-Untersuchungen unerlässlich
- Bei Anwendung des MFile-Systems mit nur vier Feilen wurde weniger Zeit für die Aufbereitung benötigt, als mit dem FlexMaster-System.
- Feilen mit kurzem Arbeitsteil bearbeiten die Innenkurvatur des Kanals kürzer und transportieren den bearbeiteten Kanalabschnitt weniger.

7. Zusammenfassung

7.1. Zusammenfassung (Rigorosum)

Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti FlexMaster[®] und MFile[®] Instrumenten, eine Vergleichsstudie

Nikolaus von Abendroth

Abstrakt

Zielsetzung: Die beiden Ni-Ti Aufbereitungssysteme FlexMaster [FM] und MFile [MF] sollen miteinander verglichen werden.

Material und Methode: 2 x 70 (= 140) künstliche Wurzelkanäle wurden von einem Behandler bis zur ISO-Größe 35 aufbereitet. Frakturnrate, Aufbereitungszeit und Änderung der Kanalgeometrie wurden untersucht.

Ergebnisse: Zip- oder Ledge-Konfigurationen konnten bei keinem aufbereiteten Kanal beobachtet werden. Elbows traten bei Anwendung von FM Instrumenten signifikant weniger auf als bei Anwendung von MF Instrumenten ($p \leq 0,01\%$). Transportiert wurden Kanäle durch Aufbereitung mit FM Instrumenten 7 mm vom Apex entfernt signifikant häufiger als durch Aufbereitung mit MF Instrumenten ($p \leq 0,001\%$). Die erreichten Aufbereitungslängen wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Die durchschnittliche Aufbereitungszeit war mit dem MF-System signifikant kürzer als mit den FM Instrumenten ($p \leq 0,001\%$). Frakturen traten bei Anwendung von FM nicht auf, bei MF wurde eine Frakturnrate von 25,7% ab der 2. bis zur 7. Anwendung registriert ($p \leq 0,001\%$). Die MF Instrumente, die das mittlere und apikale Drittel des Kanals bearbeiteten, wiesen in ca. 50% der Feilen Torsionsspuren auf. An FM Instrumenten konnten keine Torsionsspuren beobachtet werden.

Schlussfolgerung: Aufgrund der hohen Fraktur- und Torsionsrate der MFiles ist von einer mehrfachen Anwendung in gekrümmten Kanälen abzuraten, eine Einmalanwendung ist begründet. Die Reduktion der Feilenzahl von 9 bei FM auf 4 bei MF führt zu einer grenzwertigen mechanischen Belastung derselben. Instrumente mit kurzem Arbeitsteil bearbeiten im Kanal die Innenkrümmung kürzer und transportieren den bearbeiteten Kanalabschnitt weniger. Vor einem klinischen Einsatz wären weitere Untersuchungen an natürlichen Wurzelkanälen erforderlich.

Problemstellung: Seit der Einführung von Nickel-Titan Instrumenten in die Endodontie werden immer wieder neue rotierenden Aufbereitungssysteme entwickelt. Neue Systeme müssen zuerst in in-vitro-Studien im Vergleich zu etablierten Systemen bezüglich der Prozess- und Ergebnisqualität getestet werden. Schon Anfang des letzten Jahrhunderts entwickelte *Rollins* ein Verfahren, bei dem er Edelstahlinstrumente mit 100 U/min zur Kanalaufbereitung einsetzte [65]. Aufgrund der mangelnden Flexibilität von Edelstahl sowie verschiedenen Verfahrensproblemen konnte sich die maschinelle Aufbereitung lange Zeit nicht durchsetzen. Mit der Einführung der Nickel-Titan-Legierungen durch *Walia et al.* (1988) konnte eine Verbesserung gegenüber den aus Edelstahl gefertigten maschinellen Instrumenten erreicht werden. Neuere Studien zeigen, dass die mit maschinellen Wurzelkanalinstrumenten aufbereiteten Wurzelkanäle weniger Aufbereitungsfehler aufweisen, als die mit manuellen Instrumenten bearbeiteten Kanäle. Die Anwendung rotierender Instrumente verspricht zudem eine Zeitersparnis beim Aufbereitungsvorgang. Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich zum Teil deutlich in ihren Aufbereitungsergebnissen.

Zielsetzung: Es soll mit dieser Studie ein Beitrag zur ergebnisorientierten Evaluation zweier Aufbereitungssysteme geleistet werden.

Material und Methode: Ein Behandler bereitete 2 x 70 (= 140) künstliche Wurzelkanäle mit den Ni-Ti-Systemen FlexMaster und MFile bis zur ISO-Größe 35 auf. Die artifiziellen Wurzelkanäle in den Kunststoffblöckchen wiesen einen Krümmungsradius von 6,0 mm (Messung nach Pruett) und einen Winkel nach Schneider von 40° auf. Um den Formerhalt des ursprünglichen Kanalverlaufs beurteilen zu können, wurden die Kunststoffkörper vor und nach der Aufbereitung digital erfasst. Die Bearbeitung der Kanäle verlief jeweils nach der Crown-down-Technik mit anschließender apikaler Erweiterung. Traten während der Bearbeitung Instrumentenfrakturen auf, wurden die Instrumente ersetzt. Vom Behandler wurde jeweils die benötigte Aufbereitungszeit sekundengenau notiert.

Inbegriffen waren Instrumentenwechsel und Spülvorgänge. Nach der Aufbereitung wurden die Feilen auf Torsionsspuren unter dem Raster-Elektronen-Mikroskop hin untersucht. Die bearbeiteten Kanäle wurden auf die Parameter Zip, Ledge und Elbow hin untersucht. Nach Überlagerung der digitalen Bilder auf dem PC wurden die aufbereiteten Kanäle auf Transportation hin untersucht.

Die erhobenen Daten wurden auf Normalverteilung hin untersucht. Lag eine Normalverteilung vor, so wurde der t-Test verwendet, im anderen Fall wurde der U-Test nach Mann und Whitney angewendet. Traten beim Chi-Quadrat-Test signifikante Unterschiede auf, wurden die standardisierten Residuen bestimmt. Als signifikant wurde ein Unterschied benannt, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5% lag.

Ergebnisse: Zip- oder Ledge-Konfigurationen konnten bei beiden Systemen bei keinem aufbereiteten Kanal beobachtet werden. Elbows traten bei Anwendung von FM Instrumenten signifikant weniger auf als bei Anwendung von MF Instrumenten ($p \leq 0,01\%$). Transportiert wurden Kanäle durch Aufbereitung mit FM Instrumenten 7 mm vom Apex entfernt signifikant häufiger als durch Aufbereitung mit MF Instrumenten ($p \leq 0,001\%$). Der nach der Aufbereitung eingebrachte Guttapercha-Stift hatte in nahezu allen Fällen den richtigen Abstand zum apikalen Foramen. Der Unterschied war nicht signifikant ($p > 0,05$). Die durchschnittliche Aufbereitungszeit war mit dem MF-System mit 184 sek. pro Kanal signifikant kürzer als mit den FM Instrumenten (249 sek) ($p \leq 0,001\%$). Frakturen traten bei Anwendung von FM nicht auf, bei MF wurde eine Frakturrate von 25,7% ab der 2. bis zur 7. Anwendung registriert ($p \leq 0,001\%$). Die MF Instrumente, die das mittlere und apikale Drittel des Kanals bearbeiteten, wiesen nach 7 Anwendungen in min. 50% der Feilen Torsionsspuren auf. Feile MF2 30.04 wies in 85,7% der angewendeten Feilen Torsionsspuren auf, Feile MF3 30.02 wies Torsion in 76,9%, Feile MF3 35.02 wies dies in 50,0% der angewendeten Feilen auf. An FM Instrumenten konnten keine Torsionsspuren beobachtet werden.

Schlussfolgerung: Eine Frakturnrate von über 25% bei den MFile-Instrumenten ab der zweiten bis zur siebten Anwendung in gekrümmten Kanälen zeigt, dass diese Instrumenten in künstlichen, stark gekrümmten Wurzelkanälen bis an ihre Bruchgrenze beansprucht werden. Ihre mehrfache Anwendung ist kritisch, eine Einmalanwendung ist vorzuziehen. Die einschlägigen Verwendungshinweise des Herstellers sind konsequent einzuhalten. Die Reduktion der Feilenzahl pro Kanal von 9 bei FM auf 4 beim MF-System führt zu einer grenzwertigen mechanischen Belastung derselben. Trotz der Materialunterschiede von Kunststoff und Dentin können MFile-Instrumente aufgrund der hohen Frakturnrate und der daraus resultierenden reduzierten Anwendungssicherheit nach den vorliegenden Daten nur zum Einmalgebrauch empfohlen werden.

Auch zukünftig sind in-vitro-Untersuchungen zur Überprüfung der Anwendungssicherheit neu entwickelter Systeme zur anforderungsgerechten Optimierung unerlässlich.

Beobachtet wurde, dass Feilen mit einem kurzen Arbeitsteil proportional zur Anwendungsdauer im Kanal die Innenkurvatur weniger bearbeiten und daher den mittleren Kanalabschnitt weniger transportieren.

7.2. Abstract

7.2.1. Englische Version

A comparative study of root-canal preparation with rotary Ni-Ti FlexMaster® and MFile® instruments

Nikolaus von Abendroth

Aim: To compare two Ni-Ti rotary root canal systems FlexMaster [FM] and MFile [MF].

Methodology: 2 x 70 (= 140) artificial root canals were prepared to ISO #35. Fracture rate, preparation time and changes to the root canal geometry were recorded. **Results:** In none of the evaluated root canals were zip or ledge configurations observed. The use of FM instruments caused statistically less elbows in the canals compared to MF instruments ($p \leq 0,01\%$). FM instruments transported canals at point 7 mm from the apex significantly more than MF instruments ($p \leq 0,001\%$). Correct preparation length was achieved with both systems. The mean time of preparation of a root canal was significantly less with the MF system ($p \leq 0,001\%$). The registered fracture rate was zero with FM, with MF it was 25.7% between the 2nd and the 7th treatment ($p \leq 0,001\%$). Torsion was observed in more than 50% of MFiles that prepared the medial and the apical third of the canal. FM instruments showed no torsion **Conclusions:** Repeated usage of MF instruments in curved canals is not recommended due to high rate of fracture and torsion. One time usage is to be preferred. Reducing the number of instruments from 9 (FM) to 4 (MF) increases mechanical stress of the files. Instruments with shorter working parts remove less material from the inner curvature and cause less transportation. Prior to clinical usage more investigations at extracted molars are needed

7.2.2. Deutsche Version

Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Ni-Ti FlexMaster® und MFile® Instrumenten, eine Vergleichsstudie

Nikolaus von Abendroth

Zielsetzung: Die beiden Ni-Ti Aufbereitungssysteme FlexMaster [FM] und MFile [MF] sollen miteinander verglichen werden.

Material und Methode: 2 x 70 (= 140) künstliche Wurzelkanäle wurden von einem Behandler bis zur ISO-Größe 35 aufbereitet. Frakturnrate, Aufbereitungszeit und Änderung der Kanalgeometrie wurden untersucht.

Ergebnisse: Zip- oder Ledge-Konfigurationen konnten bei keinem aufbereiteten Kanal beobachtet werden. Elbows traten bei Anwendung von FM Instrumenten signifikant weniger auf als bei Anwendung von MF Instrumenten ($p \leq 0,01\%$). Transportiert wurden Kanäle durch Aufbereitung mit FM Instrumenten 7 mm vom Apex entfernt signifikant häufiger als durch Aufbereitung mit MF Instrumenten ($p \leq 0,001\%$). Die erreichten Aufbereitungslängen wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Die durchschnittliche Aufbereitungszeit war mit dem MF-System signifikant kürzer als mit den FM Instrumenten ($p \leq 0,001\%$). Frakturen traten bei Anwendung von FM nicht auf, bei MF wurde eine Frakturnrate von 25,7% ab der 2. bis zur 7. Anwendung registriert ($p \leq 0,001\%$). Die MF Instrumente, die das mittlere und apikale Drittel des Kanals bearbeiteten, wiesen in ca. 50% der Feilen Torsionsspuren auf. An FM Instrumenten konnten keine Torsionsspuren beobachtet werden.

Schlussfolgerung: Aufgrund der hohen Fraktur- und Torsionsrate der MFiles ist von einer mehrfachen Anwendung in gekrümmten Kanälen abzuraten, eine Einmalanwendung ist begründet. Die Reduktion der Feilenzahl von 9 bei FM auf 4 bei MF führt zu einer grenzwertigen mechanischen Belastung derselben. Instrumente mit kurzem Arbeitsteil bearbeiten im Kanal die Innenkurvatur kürzer und transportieren den bearbeiteten Kanalabschnitt weniger. Vor einem klinischen Einsatz wären weitere Untersuchungen an natürlichen Wurzelkanälen erforderlich.

8. Literaturverzeichnis

1. Andreasen G, Heilman H, Krell D: Stiffness changes in thermodynamic Nitinol with increasing temperature. *Angle Orthodont* **55**, 120-126 (1985)
2. Anthony LP, Grossman LI: A brief history of root-canal therapy in the United States. *J Am Dent Assoc* **32**, 43-50 (1945)
3. Arens FC, Hoen MM, Steiman HR, Dietz GC, Jr.: Evaluation of single-use rotary nickel-titanium instruments. *J Endod* **29**, 664-666 (2003)
4. Backman CA, Oswald RJ, Pitts DL: A radiographic comparison of two root canal instrumentation techniques. *J Endod* **18**, 19-24 (1992)
5. Barbakow F, Lutz F: The 'Lightspeed' preparation technique evaluated by Swiss clinicians after attending continuing education courses. *Int Endod J* **30**, 46-50 (1997)
6. Baumann MA, Roth A: Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **88**, 714-718 (1999)
7. Beer R, Baumann MA: Praktische Endodontie. *Urban & Fischer*, München-Wien-Baltimore (1994)
8. Benenati FW, Khajotia SS: A radiographic recall evaluation of 894 endodontic cases treated in a dental school setting. *J Endod* **28**, 391-395 (2002)
9. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P: Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments:

- rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* **14**, 324-333 (2001)
10. Briseño BM, Sonnabend E: The influence of different root canal instruments on root canal preparation: an in vitro study. *Int Endod J* **24**, 15-23 (1991)
 11. Bühl A, Zöfel P: SPSS Version 10. *Addison Wesley Verlag*, München (2000)
 12. Card SJ, Sigurdsson A, Ørstavik D, Trope M: The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. *J Endod* **28**, 779-783 (2002)
 13. Chen JL, Messer HH: A comparison of stainless steel hand and rotary nickel-titanium instrumentation using a silicone impression technique. *Aust Dent J* **47**, 12-20 (2002)
 14. Cheung GS: Survival of first-time nonsurgical root canal treatment performed in a dental teaching hospital. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* **93**, 596-604 (2002)
 15. Coleman CL, Svec TA: Analysis of Ni-Ti versus stainless steel instrumentation in resin simulated canals. *J Endod* **23**, 232-235 (1997)
 16. Coolidge ED: Past and present concepts in endodontics. *J Am Dent Assoc* **61**, 676-688 (1960)
 17. Craig RC: Restorative Dental Materials. *Mosby*, 10th ed, St. Louis, Toronto, London (1997)
 18. Craig RG, F.A. P: The microhardness of enamel and dentin. *J Dent Res* 611-618 (1958)

19. Cruse WP, Bellizzi R: A historic review of endodontics, 1689-1963, part 2. *J Endod* **6**, 532-535 (1980)
20. Cunningham CJ, Senia ES: A three-dimensional study of canal curvatures in the mesial roots of mandibular molars. *J Endod* **18**, 294-300 (1992)
21. Curson I: History and endodontics. *Dent Pract* **15**, 435-439 (1965)
22. Dalton BC, Ørstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M: Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod* **24**, 763-767 (1998)
23. Darabara M, Bourithis L, Zinelis S, Papadimitriou GD: Susceptibility to localized corrosion of stainless steel and NiTi endodontic instruments in irrigating solutions. *Int Endod J* **37**, 705-710 (2004)
24. Davis RD, Marshall JG, Baumgartner JC: Effect of early coronal flaring on working length change in curved canals using rotary nickel-titanium versus stainless steel instruments. *J Endod* **28**, 438-442 (2002)
25. de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR, et al.: Treatment outcome in endodontics: the toronto study-phase 4: initial treatment. *J Endod* **34**, 258-263 (2008)
26. Dietz DB, Di Fiore PM, Bahcall JK, Lautenschlager EP: Effect of rotational speed on the breakage of nickel-titanium rotary files. *J Endod* **26**, 68-71 (2000)
27. Dummer PM, Alodeh MH, Doller R: Shaping of simulated root canals in resin blocks using files activated by a sonic handpiece. *Int Endod J* **22**, 211-215 (1989)

28. Dummer PM, al-Omari MA, Bryant S: Comparison of the performance of four files with rounded tips during shaping of simulated root canals. *J Endod* **24**, 364-371 (1998)
29. Edie JW, Andreasen GF, Zaytoun MP: Surface corrosion of nitinol and stainless steel under clinical conditions. *Angle Orthodont* **51**, 319-324 (1981)
30. Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S: Treatment outcome in endodontics-the Toronto Study. Phase II: initial treatment. *J Endod* **30**, 302-309 (2004)
31. Frentzen M, Nickel J, Brunert MCL: Grundlagen zur maschinellen Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Nickel-Titan-Feilensystemen. *ZWR* **7+8**, (2005)
32. Friedman S, Löst C, Zarrabian M, Trope M: Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *J Endod* **21**, 384-390 (1995)
33. Friedman S: Prognosis of initial endodontic therapy. *Endod Topics* **2**, 59-88 (2002)
34. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP: Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. *J Endod* **29**, 787-793 (2003)
35. Gambarini G: Rationale for the use of low-torque endodontic motors in root canal instrumentation. *Endod Dent Traumatol* **16**, 95-100 (2000)

36. Gambarini G: Cyclic fatigue of nickel-titanium rotary instruments after clinical use with low- and high-torque endodontic motors. *J Endod* **27**, 772-774 (2001)
37. Glosson CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE: A comparison of root canal preparation using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endodont* **21**, 146-151 (1995)
38. Gressmann G, Hülsmann M: Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-NiTi-System. *Endodontie* **10**, 227-241 (2001)
39. Grossmann LI: Endodontics: then and now. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **32**, 254-259 (1971)
40. Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM: Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* **38**, 743-752 (2005)
41. Harty FJ, Parkins BJ, Wengraf AM: Success rate in root canal therapy. A retrospective study of conventional cases. *Br Dent J* **128**, 65-70 (1970)
42. Hoffmann-Axthelm W: In Die Geschichte der Zahnheilkunde. *Quintessenz*, 300-305 (1973)
43. Hülsmann M: Zur Geschichte der Wurzelkanalaufbereitung. *Endodontie* **5**, 97-112 (1996)
44. Hülsmann M, Rummelin C, Schäfers F: Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod* **23**, 301-306 (1997)

45. Hülsmann M: Vergleichende Studien. In Hülsmann, M (Hrsg.): Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten - ein Handbuch. Berlin, Chicago, London, Kopenhagen, Paris, Mailand, Barcelona, Istanbul, São Paulo, Tokio, Neu Dehli, Moskau, Prag, Warschau, *Quintessenz Verlags-GmbH*, 219-222 (2002)
46. Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F: A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J* **36**, 358-366 (2003)
47. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A: Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J* **36**, 810-830 (2003)
48. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM: Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics* **10**, 30-76 (2005)
49. Ingle J, Bakland L: Endodontics. 4. Aufl. *Lea & Febiger*, Baltimore (1994)
50. Kerekes K, Tronstad L: Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. *J Endod* **5**, 83-90 (1979)
51. Kum KY, Spängberg L, Cha BY, Il-Young J, Seung-Jong L, Chan-Young L: Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. *J Endod* **26**, 719-723 (2000)
52. Lazarski MP, Walker WA, Flores CM, Schindler WG, Hargreaves KM: Epidemiological evaluation of the outcomes of nonsurgical root canal treatment in a large cohort of insured dental patients. *J Endod* **27**, 791-796 (2001)

53. Lee DH, Park B, Saxena A, Serene TP: Enhanced surface hardness by boron implantation in nitinol alloy. *J Endod* **22**, 543-546 (1996)
54. Lee JH, Park JB, Andreasen GF, Lakes RS: Thermomechanical study of Ni-Ti alloys. *J Biomed Mater Res* **22**, 573-588 (1988)
55. Lilley JD: Endodontic instrumentation before 1800. *J Br Endod Soc* **9**, 67-70 (1976)
56. Lim KC, Webber J: The effect of root canal preparation on the shape of the curved root canal. *Int Endod J* **18**, 233-239 (1985a)
57. Lim KC, Webber J: The validity of simulated root canals for the investigation of the prepared root canal shape. *Int Endod J* **18**, 240-246 (1985b)
58. Luiten DJ, Morgan LA, Baumgartner JC, Marshall JG: A comparison of four instrumentation techniques on apical canal transportation. *J Endodont* **21**, 26-32 (1995)
59. Mandel E, Adib-Yazidi M, Benhamou LM, Lachkar T, Mesgouez C, Sobel M: Rotary Ni-Ti profile systems for preparing curved canals in resin blocks: influence of operator on instrument breakage. *Int Endod J* **32**, 436-443 (1999)
60. Markovic L, Eggerath J, Kiene J, et al.: Vergleichende Untersuchungen zur Charakterisierung der FlexMaster-Feile. *ZWR* **7+8**, 317-324 (2005)
61. Marquis VL, Dao T, Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S: Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase III: initial treatment. *J Endod* **32**, 299-306 (2006)

62. Matsumoto T, Nagai T, Ida K, et al.: Factors affecting successful prognosis of root canal treatment. *J Endod* **13**, 239-242 (1987)
63. Mayhew MJ, Kusy RP: Effects of sterilization on the mechanical properties and the surface topography of nickel-titanium arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* **93**, 232-236 (1988)
64. Melius B, Jiang J, Zhu Q: Measurement of the distance between the minor foramen and the anatomic apex by digital and conventional radiography. *J Endod* **28**, 125-126 (2002)
65. Milas VB: History. In Cohen S, Burns RC (Hrsg.): Pathways of the pulp. St.Louis, USA, *Mosby* 619-684 (1987)
66. Miserendino L, Miserendino C, Moser J, Heuer M, Osetek E: Cutting efficiency of endodontic instruments. Part III: Comparison of sonic and ultrasonic instrument systems. *J Endod* **14**, 24-30 (1988)
67. Molven O, Halse A: Success rates for gutta-percha and Kloroperka N-0 root fillings made by undergraduate students: radiographic findings after 10-17 years. *Int Endod J* **21**, 243-250 (1988)
68. O'Hoy PY, Messer HH, Palamara JE: The effect of cleaning procedures on fracture properties and corrosion of NiTi files. *Int Endod J* **36**, 724-732 (2003)
69. Parashos P, Gordon I, Messer HH: Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod* **30**, 722-725 (2004)
70. Parashos P, Messer HH: Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod* **32**, 1031-1043 (2006)

71. Patiño PV, Biedma BM, Liébana CR, Cantatore G, Bahillo JG: The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod* **31**, 114-116 (2005)
72. Peters OA, Schönenberger K, Laib A: Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* **34**, 221-230 (2001)
73. Peters OA, Boessler C, Zehnder M: Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. *Int Endod J* **38**, 223-229 (2005)
74. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL: Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endodont* **23**, 77-85 (1997)
75. Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung - Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontology (European Society of Endodontology). *Endodontie* **15**, 387-401 (2006)
76. Qualtrough AJ, Whitworth JM, Dummer PM: Preclinical endodontology: an international comparison. *Int Endod J* **32**, 406-414 (1999)
77. Ray HA, Trope M: Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J* **28**, 12-18 (1995)
78. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG, Jr.: The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* **11**, 203-211 (1985)

79. Sarkar NK, Redmond W, Schwaninger B, Goldberg AJ: The chloride corrosion behaviour of four orthodontic wires. *J Oral Rehabil* **10**, 121-128 (1983)
80. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH: Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* **26**, 161-165 (2000)
81. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W: Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 2. Instrumentation of curved canals. *J Endod* **21**, 493-497 (1995)
82. Schäfer E: Effects of four instrumentation techniques on curved canals: a comparison study. *J Endod* **22**, 685-689 (1996)
83. Schäfer E: Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Handinstrumenten. *Endodontie* **4**, 323-335 (1998)
84. Schäfer E: Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexofiles in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **92**, 215-220 (2001)
85. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J: Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod* **28**, 211-216 (2002)
86. Schäfer E, Lohmann D: Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile-Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* **35**, 505-513 (2002a)
87. Schäfer E, Lohmann D: Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile-Part 2.

- Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* **35**, 514-521 (2002b)
88. Schäfer E, Dzepina A, Danesh G: Bending properties of rotary nickel-titanium instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* **96**, 757-763 (2003)
89. Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G: Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod* **30**, 432-435 (2004)
90. Schäfer E, Vlassis M: Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* **37**, 229-238 (2004)
91. Schneider SW: A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **32**, 271-275 (1971)
92. Schrader C, Ackermann M, Barbakow F: Step-by-step description of a rotary root canal preparation technique. *Int Endod J* **32**, 312-320 (1999)
93. Schulte A, Pieper K, Charalabidou O, Stoll R, Stachniss V: Prevalence and quality of root canal fillings in a German adult population. A survey of orthopantomograms taken in 1983 and 1992. *Clin Oral Investig* **2**, 67-72 (1998)
94. Serene TP: On the cutting edge with nickel-titanium. Abstract Scientific Session IV. *J Endod* **20**, 421-422 (1994)

95. Shuping GB, Ørstavik D, Sigurdsson A, Trope M: Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod* **26**, 751-755 (2000)
96. Sirén EK, Haapasalo MP, Ranta K, Salmi P, Kerosuo EN: Microbiological findings and clinical treatment procedures in endodontic cases selected for microbiological investigation. *Int Endod J* **30**, 91-95 (1997)
97. Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* **16**, 498-504 (1990)
98. Sjögren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G: Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* **30**, 297-306 (1997)
99. Sonntag D: Schneidengeometrie und Effizienz voll rotierender Nickel-Titan-Feilen. *Endodontie* **12**, 229-242 (2003)
100. Sonntag D, Delschen S, Stachniss V: Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students. *Int Endod J* **36**, 715-723 (2003a)
101. Sonntag D, Guntermann A, Kim SK, Stachniss V: Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary Ni-Ti files performed by students. *Int Endod J* **36**, 246-255 (2003b)
102. Sonntag D: FlexMaster: a universal system. *Endod Topics* **10**, 183-186 (2005)
103. Sonntag D: Geometrie von Nickel-Titan Instrumenten; mehr als nur PR? *DAZ Forum* **87**, 5-7 (2006)

104. Stoll R, Behr K, Stachniss V: MFile - ein neu entwickeltes System für die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. *ZWR* **3**, 103-112 (2003)
105. Svec TA, Wang MM: Precurving of nickel-titanium files affects transportation in simulated canals. *J Endod* **24**, 23-25 (1998)
106. Svec TA, Powers JM: Effects of simulated clinical conditions on nickel-titanium rotary files. *J Endod* **25**, 759-760 (1999)
107. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W: Kunststoffe als Modellmaterial in der Endodontie. *Dtsch Zahnärztl Z* **48**, 736-738 (1993)
108. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W: Root canal instruments for manual use: cutting efficiency and instrumentation of curved canals. *Int Endod J* **28**, 68-76 (1995)
109. Testarelli L, Gallottini L, Gambarini G: [Mechanical properties of nickel-titanium files following multiple heat sterilizations]. *Minerva Stomatol* **52**, 169-173 (2003)
110. Thompson SA, Dummer PM: Shaping ability of Quantec Series 2000 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 1. *Int Endod J* **31**, 259-267 (1998)
111. Thompson SA: An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* **33**, 297-310 (2000)
112. Tronstad L, Trope M, Bank M, Barnett F: Surgical access for endodontic treatment of intruded teeth. *Endod Dent Traumatol* **2**, 75-78 (1986)
113. Tsachalinas D: Untersuchungen zur Effizienz des maschinellen Wurzelkanalaufbereitungssystems MFile auf der Basis permanent

- rotierend angetriebener Nickel-Titan-Instrumente [Dissertation].
Münster: Westfälische Wilhelms-Universität (2004)
114. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM: Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endod* **26**, 414-417 (2000)
115. Viohl J: Abformwerkstoffe. In Eichner, K (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung - Band 1. Heidelberg, *Hüthig Verlag*, 286-289 (1988)
116. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H: An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* **14**, 346-351 (1988)
117. Weichman JA, Johnson FM: Laser use in endodontics: a preliminary investigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **31**, 416-420 (1971)
118. Weiger R, Brückner M, ElAyouti A, Löst C: Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files. *Int Endod J* **36**, 483-490 (2003)
119. Weine FS, Kelly RF, Lio PJ: The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod* **1**, 255-262 (1975)
120. Weine FS, Kelly RF, Bray KE: Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape. *J Endod* **2**, 298-303 (1976)
121. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE: Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **89**, 99-103 (2000)

122. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P: Failure of ProFile instruments used with high and low torque motors. *Int Endod J* **34**, 471-475 (2001a)
123. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P: Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures. *Int Endod J* **34**, 47-53 (2001b)
124. Yared GM, Dagher FE, Machtou P, Kulkarni GK: Influence of rotational speed, torque and operator proficiency on failure of Greater Taper files. *Int Endod J* **35**, 7-12 (2002)
125. Yared GM, Kulkarni GK: Failure of ProFile Ni-Ti instruments used by an inexperienced operator under access limitations. *Int Endod J* **35**, 536-541 (2002)
126. Zehnder M: Root canal irrigants. *J Endod* **32**, 389-398 (2006)
127. Zöfel P: Statistik in der Praxis - 3. Auflage. *Gustav Fischer Verlag*, Stuttgart, Jena (1992)
128. Zöfel P: Statistik verstehen. Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung. *Addison Wesley Verlag*, München (2001)

9. Anhang

9.1. Materialliste

1. Epoxidharzblock (VDW, München, Deutschland)
2. FlexMaster® Ni-Ti-System 25mm (VDW, München, Deutschland)
3. MFile® (Gebr. Brasseler, Lemgo, Deutschland)
4. FlexMaster® IntroFile (VDW, München, Deutschland)
5. Endo IT Control Schrittmotor (VDW, München, Deutschland)
6. S.E.T. Endomotor (Gebr. Brasseler, Lemgo, Deutschland)
7. Diamant-Schleifer (Gebr. Brasseler, Lemgo, Deutschland)
8. 0,1%, wässrige Methylenblau-Lösung Farbstoff Methylenblau (Apotheke der Phillips Universität, Marburg, Deutschland)
9. Abformungs-Silikon Provil® novo Putty (Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland)
10. K-Feilen 25 mm (VDW, München, Deutschland)
11. Digitalkamera Olympus Camedia C-2500 L (Olympus, Hamburg, Deutschland)
12. Fotokamera-Stativ (eigene Herstellung Philipps Universität, Marburg, Deutschland)

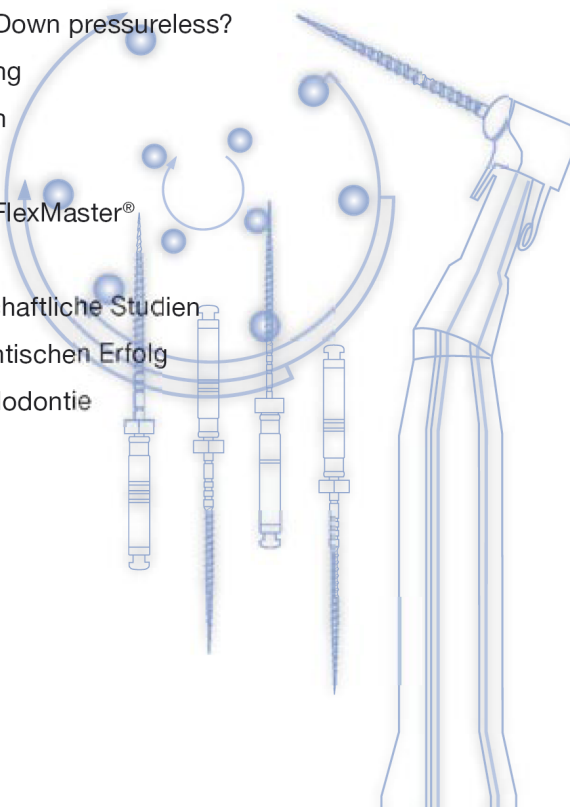
13. Chip-Karte Smart Media Card 128 MB (Smart Media, Hagenbrunn, Deutschland)
14. PC (Toshiba, Satellite Series 1130, Regensburg, Deutschland)
15. Gleitmittel Glyde File Prep® (Dentsply De Trey, Konstanz, Deutschland)
16. Guttapercha-Stift 28 mm (Orbis Dental, Offenbach, Deutschland)
17. Guttapercha-Messlehre (Dentsply De Trey, Konstanz, Deutschland)
18. Auflichtmikroskop (Zeiss, Oberkochen, Deutschland)
19. Raster-Elektronen-Mikroskop Leitz AMR 1600T (Ernst-Leitz Wetzlar GmbH, Wetzlar, Deutschland)
20. Adobe Photoshop 7.0 Bildbearbeitung (Adobe, San Jose, USA)
21. SPSS 12.0 Statistik (SPSS, Chicago, USA)

9.2. Herstellerangaben zum FlexMaster-System (Auszug)

2

Inhalt

1. Umsteigen auf ein rotierendes NiTi-System – was habe ich davon?	3
2. Warum Nickel-Titan?	3
3. Wie oft kann ich Ni-Ti Feilen verwenden?	4
4. Was genau ist Nickel-Titan (Nitinol)?	5
5. Welche Bedeutung hat das Instrumentendesign?	5
6. Die Vorteile des FlexMaster® Instrumentendesign auf einen Blick	6
7. Konizität, Taper – was bedeutet das?	7
8. Warum braucht man Instrumente verschiedener Taper?	7
9. Warum soll ich für NiTi-Instrumente einen speziellen Endomotor einsetzen?	8
10. Was bedeutet Crown-Down pressureless?	9
11. FlexMaster® Anwendung	9
12. Vorteile der Sequenzen	10
13. Anwendungshinweise	11
14. Die Belastbarkeit von FlexMaster®	11
15. Klinische Ergebnisse	12
16. Referenzen - wissenschaftliche Studien	12
17. Alles für Ihren endodontischen Erfolg	14
18. Fortbildungskurse Endodontie	16



4

Der Werkstoff Nickel-Titan (NiTi) verhält sich ganz anders. Das Material ist hochelastisch und hat ein Formgedächtnis. Biegen Sie eine NiTi-Feile um 40-60°. Sie merken sofort den Unterschied in der Flexibilität. Diese enorme Biegefähigkeit ist wichtig, aber in gleichem Maße auch das Formgedächtnis (Memory Effekt): Lassen Sie die gebogene Feile los. Sie springt – im Gegensatz zum Stahlinstrument - sofort in die gerade Ausgangsposition zurück.

Es ist die Kombination dieser beiden wesentlichen Eigenschaften, welche Nickel-Titan zum derzeit am besten geeigneten Werkstoff für die rotierende Instrumentation in der Endodontie macht.

3. Wie oft kann ich Ni-Ti Feilen verwenden?

Während sich Stahlinstrumente bei starker Belastung schnell deformieren und so eine bevorstehende Fraktur ‚ankündigen‘, drehen sich NiTi-Feilen wegen ihres Formgedächtnisses weder auf noch verbiegen sie sich. NiTi-Instrumente brechen deshalb ohne Vorwarnung. Aufgrund dieser materialspezifischen Eigenschaften ist ein Antrieb mit gleichmäßig niedriger Drehzahl und Drehmomentbegrenzung zur Reduzierung der Bruchgefahr unverzichtbar.

Voll rotierend Dentin abtragen - die Materialbelastung steigt mit dem Grad der Kanalkrümmung überproportional an



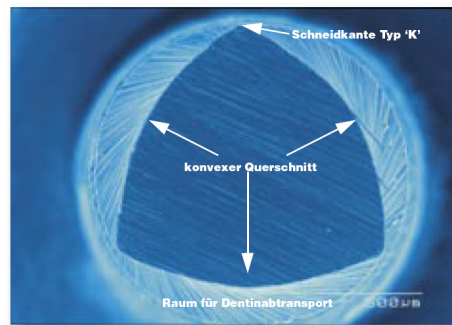
FlexMaster® NiTi-Feilen können Sie je nach Belastung mehrere Male verwenden. Autoklavierbare Etiketten für den Deckel der Systembox erleichtern Ihnen die Kontrolle über die Einsatzhäufigkeit. Sie lassen sich mit einem Permanent Marker leicht beschriften. Wir empfehlen, die Instrumente spätestens nach acht Markierungen zu ersetzen, denn das Frakturrisiko steigt mit jedem weiteren Einsatz deutlich an. Nach jeder Anwendung in gekrümmten Kanälen sollten Sie wegen der deutlich größeren Belastung 2, bei starker Krümmung 3 Markierungen auf dem Etikett machen. Das hat sich in der Praxis bewährt.

FlexMaster® ist in puncto Instrumentenverbrauch trotzdem wirtschaftlich, denn pro Aufbereitung benötigen Sie signifikant weniger Instrumente: Meist genügen 4 Größen bis zum Apex und weitere 2 – 4 Größen für die apikale Erweiterung.



6

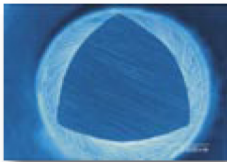
6. Die Vorteile des FlexMaster® Instrumentendesign auf einen Blick:



Querschnitt FlexMaster® Instrument (REM Aufnahme Vergrößerung 500x)

**Schneiden Typ „K“**

1. hohe Schneidleistung
2. reduzierte Torsionsbelastung
3. geringer Reibungswiderstand
4. großer Spanraum (Dentintransport)
5. verminderte Bildung von Schmierschicht

**Konvexer Querschnitt**

1. stabiler Instrumentenkern
2. hohe Resistenz gegen Torsionskräfte
3. ausgeprägtes Formgedächtnis
4. keine Neigung zu Feilendeformation

**Individuelle Schneidenwinkelung für jede Größe**

1. kein unerwünschter Einschraubeffekt
2. leicht beherrschbare Instrumente

**Inaktive Instrumentenspitze**

1. führt das Instrument in Kanalkrümmungen
2. signifikant reduzierte Perforationsgefahr

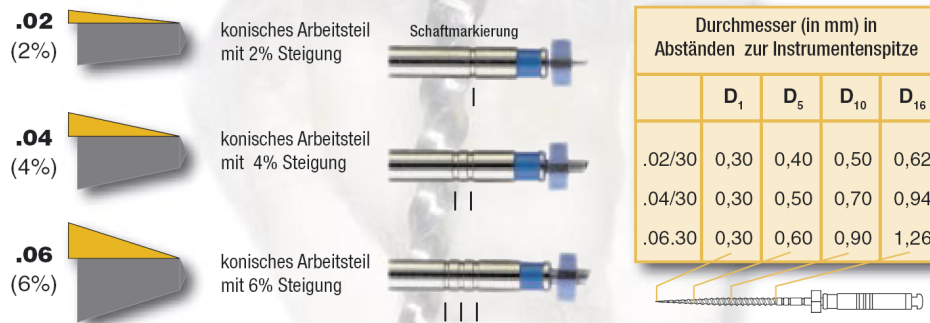
7. Konizität, Taper – was bedeutet das?

Mit Konizität und Taper ist grundsätzlich das gleiche gemeint: Der Zuwachs an Durchmesser (Konus). Taper ist die englische Bezeichnung, die sich allgemein durchgesetzt hat.

Klassische Stahlfeilen haben entsprechend ISO Standard No. 3630
2% Konizität = Taper .02

Der Zuwachs an Durchmesser von der Spitze zum Ende des Arbeitsteils ist 2% oder 2/100mm pro 1mm. Bei einem Arbeitsteil von 16mm ist eine Feile ISO 20 an der Spitze 20/100mm, am Ende des Arbeitsteils 52/100mm stark: $(20/100) + (16 \times 2\%) = 0,52$.

Taper .04 bedeutet 4% Zuwachs an Durchmesser, also ein stärker konisches Instrument, Taper .06 sind 6% Konizität usw.



8. Warum braucht man Instrumente verschiedener Taper?

Ziel der Aufbereitung ist die Schaffung optimaler Bedingungen für eine dauerhaft dichte Füllung, wozu eine gleichmäßig konische Kanalförmigkeit ideal ist. Diese lässt sich durch eine intelligent aufeinander abgestimmte Instrumentenfolge mit unterschiedlichen Konizitäten am schnellsten und sichersten erreichen:

- große Taper im geraden Teil
- mittlere Taper im gekrümmten Kanalabschnitt
- kleinere Taper zur sicheren apikalen Erweiterung

Durch Instrumente mit großem und mittlerem Taper wird ein zügiger Dentinabtrag erreicht und die Zahl der Instrumentenwechsel auf ein Minimum reduziert. Feilen mit kleinem Taper dienen der besseren apikalen Ausformung und dem weitestgehenden Erhalt der originären Kanalachse.

FlexMaster®: Taper .02, .04, .06 und .11

1. .11 für IntroFile, zur konischen Eröffnung der Kanäleingänge ersetzt 2 - 3 Gates Erweiterer.
2. .04 und .06 für die schnelle Crown-Down Phase
3. .02 zur sicheren apikalen Erweiterung

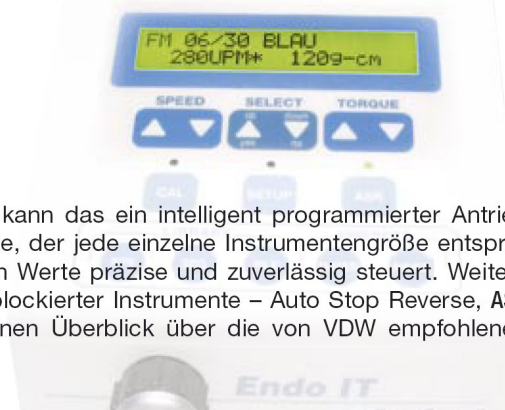


9. Warum soll ich für NiTi-Instrumente einen speziellen Endomotor einsetzen?

Stahlfeilen drehen sich auf, bevor sie brechen. Bei der optischen Kontrolle vor dem Sterilisieren können sie leicht aussortiert werden. Nickel-Titan deformiert wegen seines Formgedächtnisses nicht, es bricht bei Überlastung oder Materialermüdung ohne Vorwarnung. Um alle Vorteile des NiTi-Materials und die Leistungsfähigkeit des Instrumentendesigns optimal zu nutzen und dabei Instrumentenbrüche mit ihren unangenehmen Folgen zu vermeiden, müssen sie mit

- einer gleichmäßigen Drehzahl von ca. 300 U.p.M. und
- gleichmäßiger Kraft (Drehmoment) abhängig von der Feilengröße

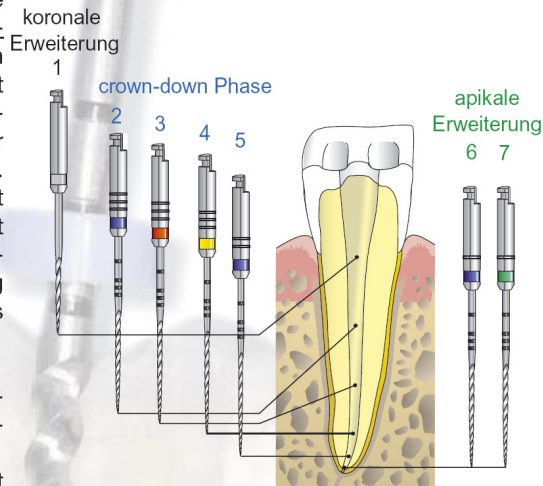
im Kanal bewegt werden. Am besten kann das ein intelligent programmierter Antrieb mit Drehzahl- und Drehmomentkontrolle, der jede einzelne Instrumentengröße entsprechend ihrer spezifischen mechanischen Werte präzise und zuverlässig steuert. Weitere Funktionen wie automatisches Lösen blockierter Instrumente – Auto Stop Reverse, ASR – erhöhen Komfort und Sicherheit. Einen Überblick über die von VDW empfohlenen Antriebe finden Sie auf Seite 15.



10. Was bedeutet Crown-Down pressureless?

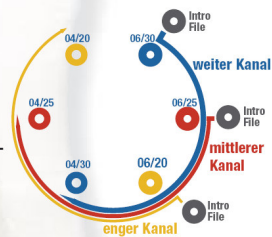
Von koronal schrittweise ohne Druckanwendung mit abnehmenden Instrumentengrößen nach apikal vordringen. Dabei genügt es zunächst, die mit der diagnostischen Röntgenaufnahme ungefähr bestimmte Kanallänge zu wissen. Die exakte Arbeitslänge wird erst kurz vor Erreichen des Apex (mit dem 3. oder 4. Instrument) gemessen. Sinnvoll ist hier die Verwendung eines modernen Endometriegerätes wie Raypex® 4 etc.

Danach wird der Apex mit aufsteigenden Instrumentengrößen erweitert (jeweils auf volle Arbeitslänge). Für die rotierende Aufbereitung hat sich die Crown-Down Methode fest etabliert und bestens bewährt.



11. FlexMaster® Anwendung

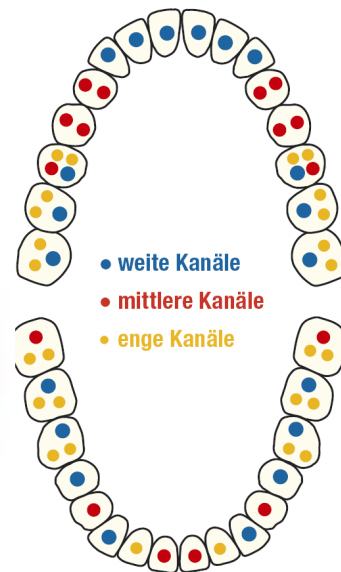
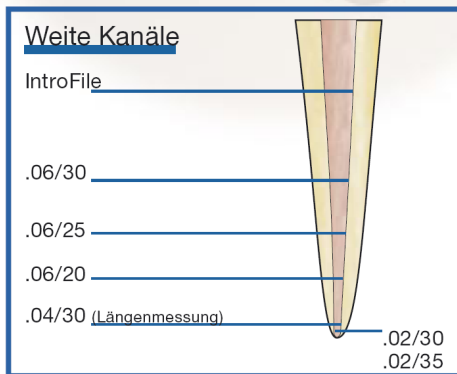
1. Eingangs-Röntgenaufnahme zur Diagnose und Abschätzung der Arbeitslänge.
2. Erstpenetration mit VDW ,C'-Feile (oder feiner K-Feile), um die Kanalgröße festzustellen (weit, mittel, eng) und entsprechende Instrumentensequenz wählen (Schema S. 10).
3. Mit einer IntroFile einen geraden Zugang schaffen und koronal großzügig erweitern.
4. Crown-Down Phase
Bei Beginn der Aufbereitung ein Gleitmittel (FileCare® EDTA) verwenden und regelmäßig großzügig spülen. Stopper auf geschätzte Arbeitslänge (AL) minus 2-3mm einstellen.
 - Bei einer konstanten Geschwindigkeit (Rotation) zw. 150-300 UpM die erste FlexMaster®-Feile der gewählten Sequenz in den Kanal einführen.
 - Das Instrument mit leichten Pumpbewegungen ca. 5-10 Sek. anwenden, bis das Vorankommen schwieriger wird. Keinen Druck anwenden.
 - Dann jeweils die nächstkleinere Größe anwenden und schrittweise aufbereiten, bis AL minus 2-3mm erreicht ist.
5. Längenmessung: Elektrische Längenmessung (mit Raypex® 4) oder Röntgenaufnahme zur Feststellung der exakten Arbeitslänge.
6. Apikale Erweiterung: FlexMaster®-Feilen .02 (grüner Kreis) werden in aufsteigender Reihenfolge auf volle Arbeitslänge angewendet: Je nach Anatomie bis max. ISO 070.



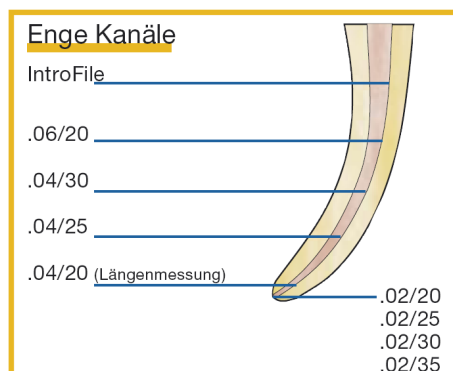
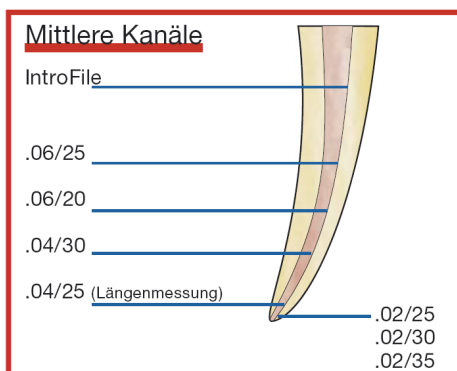
12. Vorteile der Sequenzen:

- Von erfahrenen Endodontisten entwickelt und klinisch erprobt
- Gute Ergebnisse in kürzester Zeit
- Die Instrumentenfolge ist leicht zu merken
- Alle Sequenzen sind auf BasicKit und Systembox aufgedruckt.
- Programmgesteuerter Ablauf der Sequenzen in VDW Endomotoren.

Je nach Kanalgröße stehen drei verschiedene Sequenzen zur Verfügung:



FlexMaster® Systembox



13. Anwendungshinweise

Zur sicheren und effizienten Anwendung von **FlexMaster®** Nickel-Titan Feilen sollten die folgenden Empfehlungen beachtet werden:



Benutzen Sie die Feilen immer in einem rotierenden, niedrigtourigen Winkelstück. Wir empfehlen die Verwendung eines drehmomentbegrenzten Motors. Optimal auf **FlexMaster®** Instrumente abgestimmte Antriebe sind Endo IT professional und E-Master™ (Seite 15).



Halten Sie eine konstante Drehzahl zwischen 150 und 300 Umdrehungen pro Minute ein, von der Einführung in den Kanal bis zum Herausziehen. Nicht im Kanal starten oder stoppen.



Reinigen und prüfen Sie die Instrumente auf Anzeichen von Deformation zwischen den Einsätzen. Wenn das Instrument abgenutzt erscheint, entsorgen Sie es. Das minimiert die Bruchgefahr.



00:10
sec

Üben Sie immer nur sehr leichten Druck mit dem Winkelstück aus. Erlauben Sie dem Instrument zu feilen. Führen Sie das Instrument mit 5-8 Pumpbewegungen leicht auf- und abwärts und lassen es so maximal 10 Sekunden im Kanal arbeiten.



Verwenden Sie ein Gleitmittel und spülen Sie den Kanal zwischen den Instrumenten. Gleitmittel (z.B. FileCare® EDTA) entfernt Schmierschicht und steigert die Effizienz des Instrumentes. In Kontakt mit Natriumhypochlorid schäumt FileCare® EDTA auf und schwemmt Pulpengewebe und Dentinspäne aktiv aus.



FlexMaster® Nickel-Titan Instrumente können wie jedes Qualitätsinstrument im Autoklaven oder mit Heißluft sterilisiert werden. Auch wiederholte Sterilisation hat keinen Einfluß auf Schneidleistung und physikalische Eigenschaften der Instrumente. Die **FlexMaster®** Systembox mit perforiertem Boden eignet sich zum Autoklavieren.



Wir empfehlen, beim Sterilisieren die Instrumente zu registrieren. Notieren Sie den Einsatz jedes Instrumentes nach Art des Kanals auf einem **FlexMaster®** Control Sticker mit einem Permanent Marker. Verwenden Sie bei schwieriger Anatomie immer neuere Instrumente.



Schließlich sollten Sie, wie mit jeder neuen Technik, mit **FlexMaster®** Instrumenten in Plastikblocks und extrahierten Zähnen üben, bevor Sie diese in der Praxis einsetzen.



Mit der **FlexMaster®** Technik können Sie einen Kanal in kürzester Zeit aufbereiten. Die Tiefenmarkierungen am Instrumentenschaft zeigen die Position des Instrumentes klar auf dem Röntgenbild und Sie erkennen die Arbeitslänge des Kanals während der gesamten Behandlung.

14. Die Belastbarkeit von FlexMaster®

FlexMaster® Feilen haben in Tests gezeigt, dass sie eine große Torsionsfestigkeit und Schneidleistung aufweisen. Torsions- und Biegetests wurden entsprechend ISO 3630-1 durchgeführt. Bei einer Geschwindigkeit von 350 UpM wurde die Ermüdung bei einer Ablenkung der Spitze um 5 mm am Ende der Biegung gemessen. Die Schneidleistung wurde über fünf verschiedene Arbeitslängen bei 350 UpM gemessen.



Ref. 489 **FlexMaster® Control Sticker** für Systembox

Ref. 490 **FlexMaster® Control Sticker** für Accessory Box



Ref. 479 **LavEndo® Waschbox**
zur bequemen Waschdesinfektion der
FlexMaster® Instrumente



Ref. 1040 **FlexMaster® Starterkit**
je 1 BasicKit 21 + 25 mm,
1 Systembox, 2 x 3 ml FileCare® EDTA,
3 Plastikübungsblöcke



Ref. 1010 **FileCare® EDTA**
1010 000 002 Packung mit 2 x 3ml
1010 000 005 Packung mit 5 x 3ml



Ref. 1000 **Endo IT professional**
Der Antrieb ist für die wichtigsten NiTi Systeme programmiert,
hat ASR und bietet viele professionelle Einstellmöglichkeiten
und erlaubt die Programmierung eigener Sequenzen. Speziell für
FlexMaster® Instrumente kann jeweils ein Modus für NiTi-Ein-
steiger und erfahrene Anwender gewählt werden.
Anschluss ISO ‚E‘ für Winkelstück 4:1 (nicht im Lieferumfang).



Ref. 1070 000 077
4:1 Winkelstück W&H



Ref. 1060 **E-Master™**
Der HighTech Endomotor im Taschenformat ist für FlexMaster®
NiTi-Feilen programmiert und hat ebenfalls ASR. Die Steuereinheit
in Größe und Gewicht einer Fernbedienung bildet exakt Sequenzen
und Instrumentenanordnung der Systembox nach: Einfacher kann
der Start in die rotierende Aufbereitung nicht sein.
Anschluss ISO ‚E‘ für Winkelstück 1:1 (nicht im Lieferumfang). Mit
E-Fill Modul aufrüstbar für warme Guttapercha-Kondensation.

9.3. Herstellerangaben zum MFile-System (Auszug)

Einleitung | 1

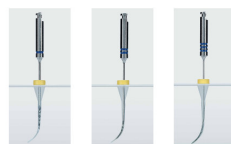


Einleitung | 1

Konstruktion | 3

Systematik | 4

Vorbereitung | 5



Behandlungsablauf | 6

Sortiment | 7



S.E.T. EndoStepper® | 8

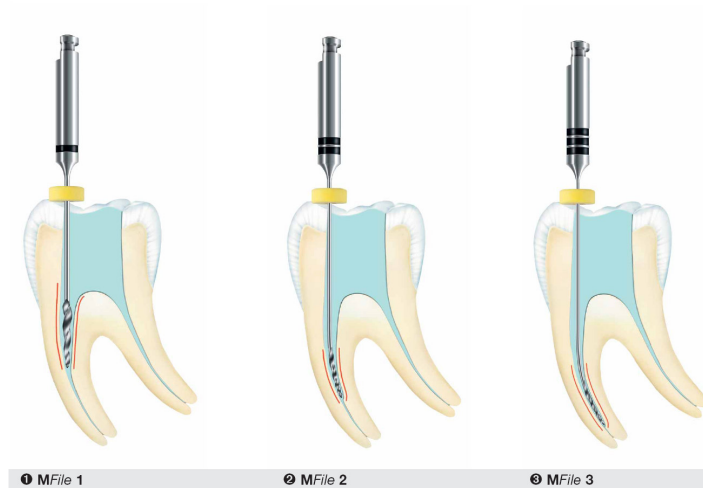
Maschinelle Wurzelkanal-aufbereitung mit MFile

MFile-Instrumente sind aufeinander abgestimmte Instrumente aus einer hochflexiblen Nickel-Titan-Legierung zur maschinellen Aufbereitung von Wurzelkanälen. Das System berücksichtigt die Anforderung, mit möglichst wenigen Instrumenten einen abfüllbaren und über die gesamte Aufbereitungslänge konischen Kanal aufzubereiten, wobei der originäre Kanalverlauf erhalten bleibt.

Die Anforderungen an eine minimal-invasive Wurzelkanalbehandlung zwecks konservierender Erhaltung des Zahnes – die Aufbereitung mit möglichst geringer Destruktion/Entfernung von Zahnhartsubstanz – werden berücksichtigt. Ebenso ist die Erkenntnis einbezogen, dass klinische apikale Größen oft unterschätzt werden.

Das Instrumentarium bietet daher die Aufbereitung eines Kanals apikal ab ISO 030 und berücksichtigt dadurch moderne Erkenntnisse über den hinreichenden mechanischen Abtrag von infiziertem Dentin an der Kanalwand einerseits sowie effektive Spül- und Abfüllmöglichkeiten andererseits.

2 | Einleitung

**Nur 3 Feilen im Wurzelkanal!**

Die einzigartige Konzeption von **MFile** sieht eine geringe Anzahl an Instrumenten für die Aufbereitung eines Wurzelkanals vor: pro Kanal werden nur 3 **MFile**-Instrumente benötigt. Das System ist damit deutlich innovativ.

Das **MFile**-System erlaubt die Aufbereitung der apikalen Zielgrößen ISO 030, 035, 040 und 045.

Das Gesamtsystem umfasst 8 Instrumente.

Das **MFile**-Konzept teilt den Wurzelkanal in drei Bereiche:

- ❶ **MFile 1**
arbeitet das gerade, obere Kanaldrittel bis zur Krümmung auf.
- ❷ **MFile 2**
arbeitet die Kanalkrümmung im mittleren Kanaldrittel bis ca. 3 mm vor dem apikalen Zielpunkt auf.
- ❸ **MFile 3**
arbeitet das apikale Kanaldrittel auf.

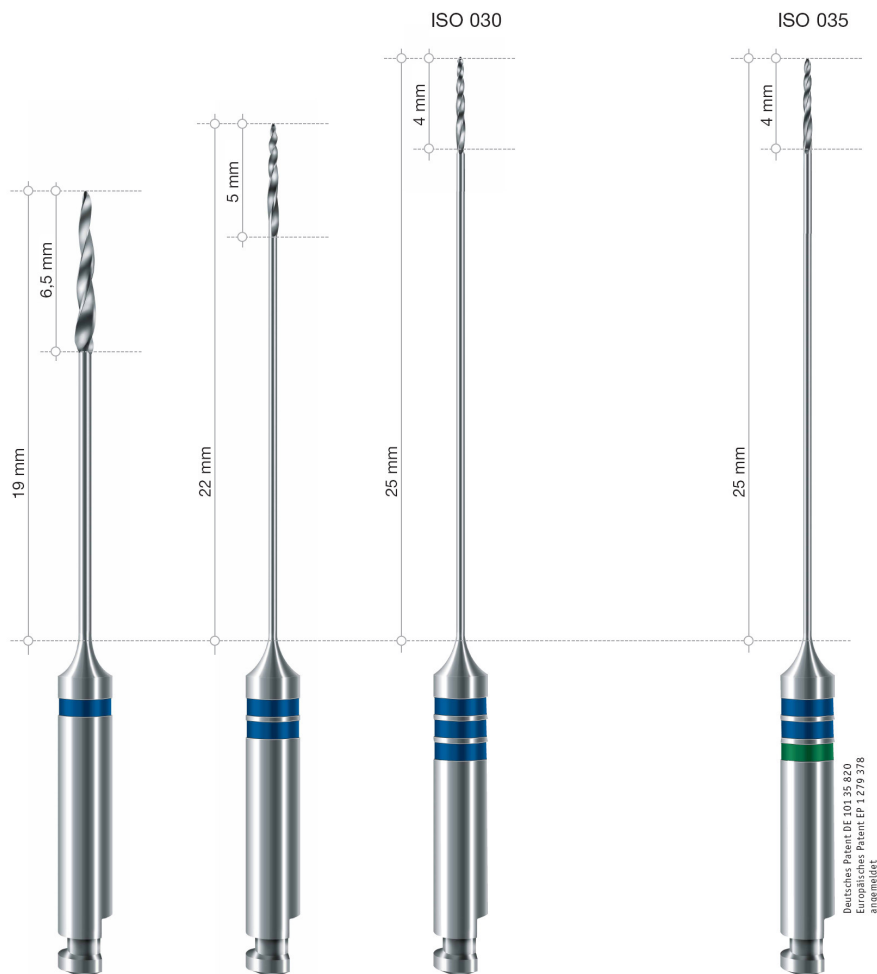
Wichtiger Hinweis:

Die maschinelle WK-Aufbereitung unterscheidet sich grundlegend von der manuellen Aufbereitung. Bitte machen Sie sich vor dem ersten Einsatz unbedingt mit dem System durch Übungen an extrahierten Zähnen vertraut. Für das Arbeiten unter Sicht können marktübliche Acrylblockchen verwendet werden, die auch innerhalb des **MFile**-Sortimentes verfügbar sind.

MFile-Instrumente werden in einem speziellen drehmomentbegrenzten Endomotor, dem S.E.T. EndoStepper® mit einem 1:1 Winkelstück, eingesetzt.

Der S.E.T. EndoStepper® einschl. 1:1 Winkelstück ist innerhalb von Deutschland und Österreich exklusiv über GEBR. BRASSELER erhältlich. Ausführliche Informationen zu diesem Motor finden Sie im Kapitel EndoStepper®.

Konstruktion | 3



Innovatives Schneidenkonzept mit effektiven Arbeitsteilen

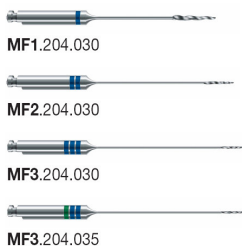
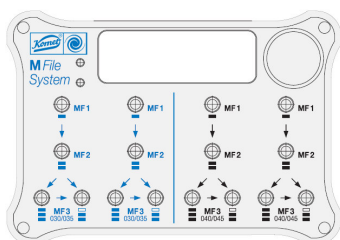
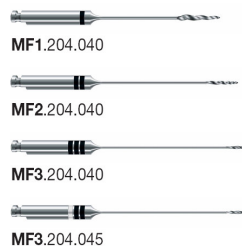
MFile-Instrumente besitzen unterschiedliche Arbeitslängen für eine zielgerichtete Aufbereitung. Die Instrumente sind für den Einsatz in Crown-Down-Technik von koronal nach apikal konzipiert.

Die Instrumente sind in ihrem Anschlussdurchmesser aufeinander abgestimmt und erzielen ein stufenloses, konisches Aufbereitungsergebnis (morphologische Taper).

Die Erkenntnisse der modernen Zahnheilkunde verlangen je nach Wurzelkanalbereich unterschiedliche Konizitäten (Taper). Dieser Forderung wurde bei der Entwicklung des **MFile**-Systems Rechnung getragen.

Die 3 Instrumententypen erzielen bei ihrem aufeinanderfolgenden Einsatz im Wurzelkanal einen annähernden Taper von 6% im koronalen Drittel (**MFile 1**), von 4% im mittleren Drittel (**MFile 2**) und von 2% im apikalen Drittel (**MFile 3**).

4 | Systematik

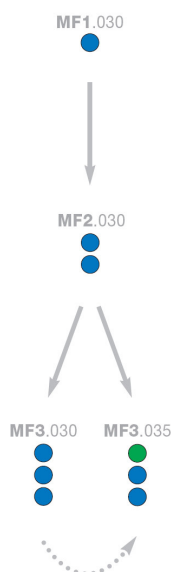
MFile | BLAU
analog ISO 030 und 035**MFile | SCHWARZ**
analog ISO 040 und 045

Die Instrumentenfolge ist auf dem Behandlungsstander leicht erkennbar dargestellt.

Für jede Instrumentengruppe ist eine Reserveaufnahme vorhanden.

Die 8 **MFile**-Instrumente sind in zwei Farbgruppen aufgeteilt: Gruppe BLAU für die Aufbereitung der apikalen Zielgrößen ISO 030 und 035, Gruppe SCHWARZ für die Aufbereitung der apikalen Zielgrößen ISO 040 und 045.

Für die mechanische Wurzelkanalaufbereitung mit **MFile** ist die apikale Aufbereitungs-Zielgröße festzulegen. Die Zielgröße soll so gewählt werden, dass drei ISO-Größen infiziertes Dentin über den anatomischen apikalen Durchmesser des Wurzelkanals hinaus von der Wurzelkanalwand abgetragen werden.

**MFile | BLAU**

Instrument MF1 mit einem blauen Ring arbeitet das koronale, gerade Kanaldrittel auf.

Instrument MF2 mit zwei blauen Ringen arbeitet das mittlere Kanaldrittel bis ca. 3 – 4 mm vor das apikale Aufbereitungsende auf.

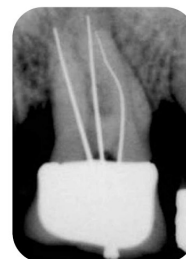
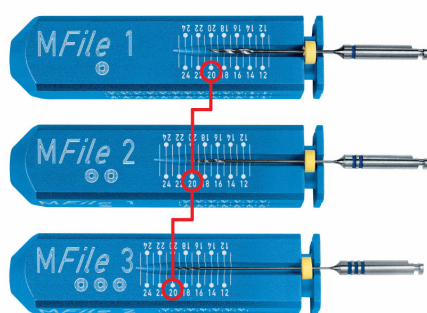
Für die Aufbereitung des apikalen Kanaldrittels wird je nach Zielgröße nun das Instrument MF3 für Größe ISO 030 mit drei blauen Ringen eingesetzt oder das Instrument MF3 für Größe ISO 035 mit zwei blauen und einem grünen Ring.

Einem apikalen Instrument sind also immer jeweils zwei Instrumente für die Aufbereitung des mittleren und koronalen geraden Kanaldrittels vorgeschaltet.

Innerhalb einer Instrumentengruppe ist es möglich, mit der größeren MF3 apikal nachzuarbeiten, falls der gewählte apikale Zieldurchmesser zu gering war.

MFile | SCHWARZ

Das für die Aufbereitungsgruppe BLAU gesagte gilt analog auch für die Gruppe SCHWARZ.



Digitale Messaufnahme
mit Silberstiften

G180.204.150

173FC 25.654.015

173FC 25.654.020

Standardisierte Längeneinstellung

Die Einstellung der Arbeitslänge von **MFile**-Instrumenten erfolgt mittels Stoppern und der **MFile**-Messlehre; **MFile**-Instrumente werden werksseitig mit einem sterilisierbaren Silikonstopper bestückt geliefert.

Die **MFile**-Messlehre ist ein Vierkant; drei Seiten besitzen eine spezielle Längenskala für **MFile**-Instrumente, die vierte Seite ist universell für herkömmliche Handinstrumente mit einem 16mm Arbeitsteil skaliert. Vor ihrer blau eloxierten Oberfläche lassen sich die Instrumente gut ablesen und auf die Längenspunkte einstellen.

Die **MFile**-Messlehre ist für moderate, normale Krümmungen bis 30° (nach Schneider) ausgelegt. Werden **MFile**-Instrumente auf diesen drei Längenskalen eingestellt, so arbeitet MF3 bis zum apikalen Aufbereitungsende, MF2 arbeitet 3 mm kürzer und MF1 arbeitet nochmals 3 mm kürzer als MF2.

Vorbereitender Behandlungsablauf

- Röntgenkontrollaufnahme
- Darstellung des Kanaleingangstrichters, ggf. geradlinigen Zugang zum Kanaleingang schaffen [Gates/G180, Peeso/183]
- Sondierung der Durchgängigkeit des Kanals mittels Instrumenten-Größe ISO 008 bis 015 [Pathfinder, C-File]
- Längenbestimmung [endometrisch, röntgenologisch], Tasten bis zur Krümmung
- Erneute Sondierung mit Handinstrumenten aufsteigender Größen, bis eine Feile apikal klemmt
- Ein Instrument der Größe ISO 015 muss klemmfrei bis zum apikalen Referenzpunkt eingeführt werden können. Bei sehr engen Kanälen muss ggf. initial mit Handinstrumenten aufbereitet werden
- Ermittlung der **MFile**-Instrumentengruppe

Der Zieldurchmesser für die infrage kommende **MFile**-Instrumentengruppe errechnet sich wie folgt: Durchmesser der apikal klemmenden Feile + 3 ISO-Größen.

Beispiel:

klemmende Feile ISO 020
(+ 025 + 030 + 035);
Aufbereitungs-Zielgröße ist ISO 035
mit den Instrumenten MF1.204.030,
MF2.204.030, MF3.204.035.

6 | Behandlungsablauf

**MFile Behandlungsablauf**

Die Verwendung der **MFile**-Instrumente erfolgt nach dem Crown-Down-Prinzip. Beim Einsatz von **MFile** gelten alle bekannten grundsätzlichen Regeln für den Einsatz von rotierenden Instrumenten aus hochflexiblem Nickel-Titan und müssen beachtet werden:

- Instrumente immer rotierend in den Kanal einführen
- Geeignetes Gleitmittel verwenden (z.B. CALCINASE-slide, Fa. lege artis)
- Kanal stets ausreichend spülen
- Nie mit Druck arbeiten
- Instrument nur kurzzeitig im Kanal belassen
- Sobald ein Instrument seine Arbeitslänge erreicht hat, ist die Aufarbeitung beendet
- Einsatzhäufigkeit der Instrumente beobachten, speziell nach der Aufbereitung gekrümmter Kanäle (Ermüdungsfraktur)

Vor dem Einsatz des ersten **MFile**-Instrumentes den Kanal spülen, Gleitmittel einbringen. Vorgang nach jedem **MFile**-Einsatz wiederholen. Unter Berücksichtigung der Parametereinstellungen des EndoStepper® wird mit MF1 die Aufbereitung begonnen. Nachfolgend wird mit MF2 und MF3 aufbereitet. Die Zwischenreinigung eines Instrumentes erfolgt durch Abstreifen der Schneide auf der Schaumstoffeinlage [9850] im Behandlungsständer. Zwischen den einzelnen Instrumentenanwendungen die Gängigkeit des Wurzelkanals manuell kontrollieren.

Bei stark gekrümmten Wurzelkanälen sollte evtl. die Arbeitslänge nach Anwendung von **MFile** 1 erneut überprüft werden.

MFile 2 soll den Kanalverlauf im mittleren Drittel aufarbeiten, so dass die Aufbereitungsarbeit zwischen MF2 und MF3 aufgeteilt ist.

MFile 3 soll die letzten 3–4 mm vor dem apikalen Referenzpunkt bearbeiten.

Nach der mechanischen Aufbereitung:

- chemische Kanalreinigung in gewohnter Weise durchführen
- geeignete Fülltechnik anwenden

8 | S.E.T. EndoStepper®

S.E.T. EndoStepper®

Der S.E.T. EndoStepper® ist ein intelligenter Präzisions-Schrittmotor für die Endodontie. Er zerlegt eine Umdrehung in 1600 einzelne Schritte. In Abhängigkeit von der Stromspannung, die Motor und Instrument benötigen, kann ein eindeutig reproduzierbares Drehmoment eingestellt werden. Das Drehmoment für jedes NiTi-Instrument wurde anhand von Kennlinien ermittelt. Dies ist erforderlich, da sich die plastische Verformung bei dem Werkstoff Nickel-Titan nicht eindeutig darstellt und Frakturen plötzlich auftreten.

Die sichere Aufbereitung wird durch eine exakte und präzise Kontrolle aller rotierenden Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan und Stahl gewährleistet. Der computergesteuerte Motor ermöglicht eine digitale Einstellung der Drehzahl und des Drehmomentes für jedes einzelne Instrument. Dadurch wird die Frakturgefahr auf ein minimales Risiko reduziert. Auch bei verklemmten Instrumenten im Kanal gibt es eine Lösung – durch die Twisting®-Funktion. Die Feile kann sich durch eine einstellbare Links-Rechts-Bewegung aus der Verklemmung befreien.

Der neuartige Schrittmotor ist so vibrationsarm, dass der Patient die Behandlung kaum spürt. Der Motor ist mit einem übersichtlichen Display am Computer einfach zu bedienen. Die Menü-Steuerung lässt sich sowohl am Computer selbst als auch mit dem Fußschalter bedienen. Programmierbare Bewegungsabläufe eröffnen zukünftig weitere Funktionen in Therapie und Prophylaxe.



Der Schrittmotor arbeitet durch eine computergesteuerte Elektronik unterhalb des maximal zulässigen Grenzdrehmomentes eines jeden Instrumentes. Er ist ein Synchronmotor, der ein maximales Drehmoment von 3,5 Ncm erreichen kann. Unterhalb dieser Grenze lässt sich das Drehmoment für jedes Instrument spezifisch einstellen. Dieses Drehmoment berücksichtigt zum einen die Herstellerangaben der Instrumente, zum anderen die tatsächliche Elastizitätsgrenze der Instrumente. Ist eine Materialverformung gerade noch reversibel, ist die Elastizitätsgrenze erreicht. Wird diese Grenze überschritten, kommt es zu irreversiblen Materialschädigungen – der plastischen Verformung – und schließlich zum Bruch.

Alle instrumentenspezifischen Daten wie maximales Drehmoment, Arbeitsdrehzahl, Elastizitätsgrenze, Winkel der Links-Rechts-Bewegung und Drehmomenterhöhung sind im EndoStepper® abgespeichert.

Der EndoStepper® ist als Vollversion in Deutschland und Österreich exklusiv über GEBR. BRASSELER erhältlich. Das Gerät enthält die Kenndaten der MFile-Instrumente sowie weiterer maschineller Aufbereitungssysteme.

Der Antrieb zählt zu den führenden, „offenen“ Systemen; seine Kenndaten sind über eine Schnittstelle stets upgradefähig.

Hauptvorteile des EndoStepper®:

- schnelle, sichere Kanalaufbereitung
- vibrationsarm
- optimale Materialausschöpfung
- einfache, menügesteuerte Anwendung
- wartungsfreier, bürstenloser Motor
- upgradefähig über integrierte Schnittstelle

Lieferumfang Fig. 9847:

- S.E.T. EndoStepper® 1, 230V 98100/044 (Computer)
- Mikromotor 01A (Vollversion) mit 2 m Anschlussleitung und Stecker
- Hülse 01A, sterilisierbar
- Fußpedal
- Winkelstück 1:1
- Netzkabel
- serielle Schnittstelle
- Basissoftware Endodontie
- Handbuch

Anwender eines S.E.T. EndoStepper® wenden sich bei Fragen direkt an S.E.T.:

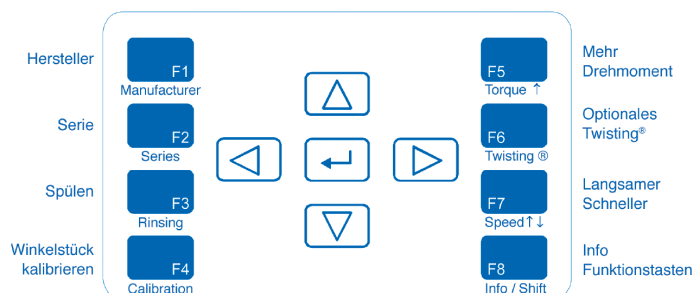
- S.E.T. Hotline: +49 (0) 8142 444560

Allgemeine Information:

Der Einsatz von **MFile**-Instrumenten erfolgt im S.E.T. EndoStepper®, welcher die Drehzahl für jedes Instrument exakt steuert und das Drehmoment nach Vorgabe begrenzt.

Das im Lieferumfang enthaltene Handbuch des EndoStepper® gibt umfassende Informationen über technische Einzelheiten des Motors, seine Computereinheit (Gehäuse) sowie zum Betrieb von Instrumenten.

Lernen Sie den Antrieb kennen und machen Sie sich mit dem Fußpedal hinreichend vertraut.



- Das Drehmoment des Motors wird durch das Winkelstück gemindert. Der aktuelle Wirkungsgrad des Winkelstückes muß daher mit der **F4**-Taste kalibriert werden. Es dürfen nur 1:1 Winkelstücke verwendet werden!
- Üben im Acrylblockchen/Drehmomenterhöhung **F5**-Taste: Für das Üben unter Sicht in handelsüblichen Kunststoffblockchen sollten die Drehmomentwerte mit der **F5**-Taste erhöht werden. Die Frakturgefahr der Instrumente im Acryl wird dadurch allerdings erhöht. Der Anwender muss das Risiko abschätzen, diese Funktionstaste anzuwenden. Die Instrumente werden durch das Arbeiten im Acryl stark beansprucht.
- **MFile**-Instrumente werden bei einer Drehzahl von konstant 500 min⁻¹ eingesetzt. Diese, sowie das Drehmoment jedes Instrumentes, sind im S.E.T. EndoStepper® einprogrammiert.

Kontraindikation:

- Vom Einsatz des EndoStepper® in der Nähe von Personen mit Herzschrittmacher wird abgeraten.

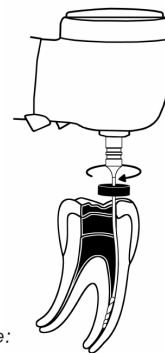
Kalibrierung:

Kalibrieren des Winkelstückes (sollte bei jedem Patienteneinsatz kurz vorgenommen werden):

- Stepper einschalten (Schalter auf der Rückseite)
- beliebiges **MFile**-Instrument im Winkelstück einspannen
- Taste **F4** drücken und beobachten, ob das Instrument sich dreht
- Mit den Tasten > und < den Punkt einstellen, an dem sich das Instrument erstmalig dreht
- mit Taste Enter (in der Mitte) bestätigen
- Menü mit **F4**-Taste verlassen.

Arbeiten mit **MFile**:

- Die Herstellerwahl erfolgt durch wiederholtes Drücken der **F1**-Taste. Im EndoStepper® sind die Betriebsdaten aller bekannten maschinellen Systeme für die Wurzelkanalaufbereitung gespeichert.
- Mit der **F2**-Taste können Instrumentenserien eines jeweiligen Herstellers durchsucht werden.





MFilE – Wurzelkanalinstrumente für die maschinelle Aufbereitung

1. Systemübersicht

- siehe Tabelle 1

2. Indikation MFilE

Die Indikationsbereiche für MFilE-Instrumente erstrecken sich auf gerade oder gekrümmte Kanäle mit Neigungswinkel nach Schneider kleiner als 30°. Der Einsatz der MFilEs erfolgt in einem geeigneten drehmomentbegrenzten Endomotor mit 1:1 Winkelstück. Für MFilE-Instrumente wird der S.E.T. EndoStepper empfohlen. Ab Software-Version E01N02M0 sind MFilE Betriebsdaten enthalten.

Das maximale Bruchmoment (MBruch) jedes einzelnen MFilE-Instrumentes variiert. Die in der Tabelle angegebenen Werte können bis zu 20% abweichen. Die Drehmomentmessungen wurden nach DIN 3830-1 durchgeführt. Bei Verwendung eines anderen drehmomentbegrenzten Antriebes als dem S.E.T. EndoStepper ist vom Anwender sicherzustellen, dass die max. Bruchwerte um einen geeigneten Sicherheitsfaktor unterschritten werden. Je nach Kanalkrümmung kann dieser Faktor variieren. Die optimale Drehzahl vom 500min⁻¹ muß vom Antrieb ebenfalls gewährleistet werden.

3. Kontraindikation

- gekrümmte Kanäle mit Neigungswinkel nach Schneider größer 30°
- stärker gekrümmte oder abrupt gekrümmte Kanäle
- stark kalkifizierte Kanäle

4. Behandlungsschritte

4.1 Grundsätzliche Informationen

4.1.1 Die Verwendung eines geeigneten drehmomentbegrenzten Antriebes ist erforderlich. Der S.E.T. EndoStepper bietet unter Nutzung der vorgegebenen MFilE-Parametereinstellungen genügend Sicherheit gegenüber Gewaltbrüchen.

Der Anwender ist verpflichtet, sich über den aktuellen Software-Stand des EndoStoppers zu informieren.

Nur unter Verwendung der Software (ab Update Version E01N02M0) ist die sichere Nutzung von MFilE-Instrumenten möglich.

Über die spezifische Handhabung des EndoStoppers gibt die Bedienungsanleitung des Gerätes Auskunft. Alle vorbereitenden Maßnahmen (z.B. Kalibrierung Winkelstück usw.) sind vom Anwender zu berücksichtigen.

Vor dem ersten Einsatz von MFilE-Instrumenten muß sich der Anwender mit dem System hinreichend durch Übungen am extrahierten Zahn vertraut machen. Eine zusätzliche Möglichkeit für das Üben unter Sicht ist die Verwendung von Acrylblockchen. Hierbei müssen jedoch andere Betriebswerte eingestellt werden.

Durch Erhöhung des Drehmomentes, z.B. mit der F-5-Taste des EndoStoppers, wird das Instrument auf das Niveau der Bruchgrenze beansprucht. Die Lebensdauer wird dadurch erheblich reduziert, ggf. können die Instrumente auch unter sachgemäßem Einsatz frakturieren. Für Übungszwecke kann als Gleitmittel Wasser verwendet werden.

4.1.2 Über die Morphologie des Zahnes, z.B. Anzahl der Wurzeln/Kanäle, schwierige Kanalformen wie breite/flache/ovale Kanäle oder ggf. konfluente Kanäle muß sich der Behandler grundsätzlich einen genauen Überblick verschaffen, da nicht immer eine maschinelle Aufbereitung möglich ist. Bei Kanälen, die im Querschnitt stark von der Kreisform abweichen (z.B. ovale, tragflügelartige oder 8-förmige) sind ggf. weitere vorbereitende Maßnahmen zur Aufbereitung und Reinigung notwendig.

4.1.3 MFilE-Instrumente werden in Crown-Down-Technik angewendet. Dabei ist auf die Einhaltung der Instrumentenreihenfolge von MF1 zu MF2 zu MF3 zu achten. Diese Reihenfolge darf nicht geändert oder unterbrochen werden. Durch eine Anzahl von Farbringen auf dem Schaft wird die Reihenfolge angezeigt (MF1 hat 1 Farbring, MF2 hat 2 Farbringe, MF3 hat 3 Farbringe). Eine weitere Unterscheidung findet sich in den unterschiedlichen Arbeitslängen. Dabei ist MF1 das kürzeste Instrument und MF3 das längste Instrument. An diesem Instrument (MF3) wird auch die max. Arbeitslänge von 25 mm sichtbar.

4.1.4 MFilE-Instrumente sind aus einer hochflexiblen Nickel-Titan-Legierung gefertigt. Die mit den Instrumenten MFilE3 zu realisierenden apikalen Aufbereitungs-Zielgrößen liegen bei 030, 035, 040 und 045. Die Farbcodierung blau steht für die apikale Zielgröße 030. Zusätzlich kann die apikale Zielgröße 035 mit dem Instrument MF3.035 (2 Farbringe blau und 1 Farbring grün) erreicht werden. Die Farbcodierung schwarz steht für die apikale Zielgröße 040. Zusätzlich kann die apikale Zielgröße 045 mit dem Instrument MF3.045 (2 Farbringe schwarz und 1 Farbring weiß) erreicht werden.

4.1.5 Für eine Aufbereitung werden drei MFilE-Instrumente einer apikalen Zielgruppe benötigt. Dabei wird eine von koronal nach apikal abnehmende annähernd konische Aufbereitungsform erzielt, die durch die Arbeitsteile der einzelnen Instrumente vorgegeben sind (MF1 mit ~ 6%, MF2 mit ~ 4%, MF3 mit ~ 2% Konus).

- Instrumente vor jedem Einsatz genau auf Deformationen und Formveränderungen hin kontrollieren. Instrumente mit sichtbaren Beeinträchtigungen nicht mehr verwenden.

- Die Einsatzzeit für jedes Instrument beträgt maximal 5 bis 10 Sekunden. Die Instrumente werden rotierend in den Kanal eingeführt und sollten auch während der Arbeit unter Rotation gehalten werden. Durch frühzeitige Zwischenreinigung sollten Debrissspäne vom Arbeitsteil entfernt werden, damit ein Verblocken des Instrumentes im Wurzelkanal verhindert wird.

- Geeignete Gleitmittel mit EDTA Zusatz (z.B. File Eze, Fa. Ultradent) und häufiges Spülen mit 2,5%igen NaOCL-Lösungen (Natriumhypochlorit) sollen in den Behandlungsgang integriert werden. Dadurch läßt sich die Reinigungswirkung mit den Nickel-Titan-Instrumenten steigern.

- MFilE-Instrumente nie mit Kraftaufwand in den Kanal einführen. Wenn kein Fortschritt mehr zu verzeichnen ist, das MFilE-Instrument aus dem Kanal herausziehen. Mittels Handinstrument Sondierung durchführen und weiteren Behandlungsablauf planen.

- Ein MFilE-Instrument nicht für mehr als drei Wurzelkanalaufbereitungen verwenden, dann aussortieren. Bei größerer mechanischer Belastung sollten die Instrumente nach einmaliger Anwendung ausgesondert werden.

4.2 Vorbereitender Behandlungsablauf

- Röntgenkontrollaufnahme
- Darstellung des Kanaleingangstrichters, ggf. geradlinigen Zugang zum Kanaleingang schaffen [Gates Fig. G180, Peeso Fig. 183]

- Sondierung der Durchgängigkeit des Kanals mittels Instrumenten Größe 008 bis 015 [Pathfinder, C-File]
- Längenbestimmung [endometrisch, röntgenologisch], tasten bis zur Krümmung

- Erneute Sondierung mit Handinstrumenten aufsteigen der Größen, bis eine Feile apikal klemmt
- Ein Instrument der Größe ISO 015 muss klemmfrei bis zum apikalen Referenzpunkt eingeführt werden können. Bei sehr engen Kanälen muss ggf. initial mit Handinstrumenten aufbereitet werden

- Ermittlung der MFilE-Instrumentengruppe
Der Zieldurchmesser für die infrage kommende MFilE-Instrumentengruppe errechnet sich wie folgt:
Durchmesser der apikal klemmenden Feile + 3 ISO-Größen.

Beispiel: klemmende Feile ISO 020 =
Aufbereitungsgröße 035 mit den Instrumenten MF1.204.030, MF2.204.030, MF3.204.035.

4.3 MFilE Behandlungsablauf

4.3.1 Die Verwendung der Instrumente erfolgt nach dem Crown-Down Prinzip. Unter Berücksichtigung der Parametereinstellungen des EndoStoppers wird mit MF1 die Aufbereitung begonnen. Nachfolgend wird mit MF2 und MF3 aufbereitet.

Hinweise:

MFilE1 dient zur Aufbereitung im oberen Wurzelkanal-drittel, jedoch maximal bis zum Beginn der Wurzelkrümmung. MFilE3 soll die letzten 3–4 mm vor dem apikalen Referenzpunkt bearbeiten. MFilE2 soll den Kanalverlauf im mittleren Drittel aufarbeiten, so dass die Aufbereitungsarbeit zwischen MF2 und MF3 aufgeteilt ist.

4.3.2 Individuelle Längenbestimmung (Beispiel)

- Gesamte Aufbereitungsgröße (G) ermitteln (z.B. 22 mm)
- Krümmungsbeginn (Kb) mittels Handinstrument austasten (z.B. 14 mm)
- MF1 mit der universellen Messlehre 150.394 (ohne MF Kennzeichnung) auf 14 mm einstellen
- Verbleibende Aufbereitungsgröße (G – Kb)
22 – 14 = 8 mm wird von MF2 und MF3 bearbeitet.
- Messlehreneinstellung für
MF2 = 22 mm (Kennzeichnung Messlehre MFilE2)
MF3 = 22 mm (Kennzeichnung Messlehre MFilE3)
- Zwischenreinigung eines MFilE-Instrumentes durch Abstreifen der Schneide auf geeignetem Schaumstoff (o. vergleichbarem).

4.3.3 Arbeitslängenermittlung

Bei kurzen und mittellangen Kanälen ohne oder mit moderater Krümmung kann die Aufteilung der Arbeitslängen nach MFilE-System-Messlehre erfolgen. Die nach Lehre ermittelten Werte sind jedoch stets anhand der Röntgenaufnahmen auf Plausibilität zu kontrollieren.

Hinweise:

Bei langen Kanälen und solchen mit stärkerer Krümmung sollte die Längenplanung anhand der o.a. Regeln individuell vorgenommen werden.

Zwischen den einzelnen Instrumentenanwendungen die Gängigkeit des Wurzelkanals manuell kontrollieren. Bei stark gekrümmten Wurzelkanälen sollte evtl. die Arbeitslänge nach Anwendung von MFilE1 erneut überprüft werden.

5. Weiterbehandlung

Abfüllen in bekannter Weise mit geeigneten Materialien (z.B. Guttapercha). Da die Aufbereitung mit MFilE einen individuellen Konusverlauf erzeugt, sollte eine Füllung mit einem geeigneten Kondensationsverfahren (z.B. laterale Kondensationstechnik) durchgeführt werden.

6. Pflegehinweise

Alle Systembestandteile werden unsteril geliefert. Deshalb müssen die Instrumente vor jeder Anwendung desinfiziert, gereinigt und sterilisiert werden. Die Instrumente sind mit Desinfektions- und Reinigungsmitteln für rotierende Instrumente zu behandeln (z.B. mit KOMET DC 1). Die Benutzungshinweise (Einwirkdauer, Konzentration, Eignung) von Desinfektions- und Reinigungsmitteln sind den Angaben der Hersteller dieser Mittel zu entnehmen.

Die Desinfektion bzw. Reinigung darf nicht im Thermo-desinfektor erfolgen.

Desinfektions- und Reinigungsmittel sehr gründlich mit Wasser abspülen und sorgfältig trocknen (z.B. mittels Luftstrom).

Instrumente nie feucht oder nass längere Zeit liegen lassen oder lagern. Insbesondere sollte das NaOCL gründlich entfernt werden und die Kontaktdauer auf ein Minimum von wenigen Minuten beschränkt werden. Bei der Reinigung im Ultraschall dürfen sich die Instrumente nicht gegenseitig berühren!

Instrumente optisch prüfen. Beschädigte oder stumpfe Instrumente aussortieren und nicht mehr verwenden.

7. Sterilisation

Die Sterilisation erfolgt im Autoklaven (134°C). Die vom entsprechenden Gerätehersteller angegebenen Hinweise sind zu beachten.

8. Sicherheit und Haftung

Bitte beachten Sie die allgemeinen Gebrauchs- und Sicherheitsempfehlungen im aktuellen KOMET-Dental-Katalog. Der Anwender ist verpflichtet, die Produkte eigenverantwortlich vor deren Einsatz auf die Eignung und die Verwendungsmöglichkeiten für die vorgesehenen Zwecke zu prüfen.

Unschadgemäßer Gebrauch schließt jegliche Haftung in Form von Ersatzleistung durch GEBR. BRASSELER aus.

9.4. Tabellen

<i>Untersuchungs- parameter</i>	<i>FlexMaster</i>	<i>MFile</i>	<i>Irrtumswahrscheinlichkeit u. Signifikanz</i>
Elbow	21,4%	48,1%	$p \leq 0,01$ **
Zip	0%	0%	$p > 0,05$ ns
Ledge	0%	0%	$p > 0,05$ ns
MP korrekt	95,7%	100%	$p > 0,05$ ns
MP zu kurz	4,3%	0%	$p > 0,05$ ns
MP zu lang	0%	0%	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 1 mm	0%	0%	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 3 mm	0%	0%	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 5 mm	2,9%	0%	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 7 mm	81,4%	46,2%	$p \leq 0,001$ ***
TrMsPt 9 mm	1,4%	1,4%	$p > 0,05$ ns
TrMsPt 11 mm	0%	0%	$p > 0,05$ ns
Aufbereit.zeit	249 Sek. (Median)	184 Sek. (Median)	$p \leq 0,001$ ***

Tab. 7: Ergebnisse der Aufbereitungen mit dem FlexMaster- und dem MFile- System

[MP = Masterpoint; TrMsPt = Messpunkt der Transportation

(n = 1 mm bis 11 mm Abstand des Messpunktes vom Foramen)]

	Feile #1 MF1 30.06	Feile #2 MF2 30.04	Feile #3 MF3 30.02	Feile #4 MF3 35.02
1. Anwendung	-	-	-	-
2. Anwendung	-	2	1	-
3. Anwendung	-	-	1	2
4. Anwendung	-	1	-	1
5. Anwendung	-	1	4	-
6. Anwendung	-	1	2	-
7. Anwendung	-	-	2	-

Tab. 8 Inzidenz der Instrumentenfrakturen mit Bezug zur Häufigkeit ihrer Anwendung bei den MFiles

	Feile #1 MF1 30.06	Feile #2 MF2 30.04	Feile #3 MF3 30.02	Feile #4 MF3 35.02
Frakturierte Feilen (Anzahl)	0 von 10	5 von 14	10 von 13	3 von 12
Frakturierte Feilen (%)	0	35,7	76,9	25
Frakturlokal. vom Schaft entfernt	-	3,0-4,0 mm	0,3-1,0 mm	0,3-1,0 mm
Tordierte Feilen (Anzahl)	0 von 10	12 von 14	10 von 13	6 von 12
Tordierte Feilen (%)	0	85,7	76,9	50
Torsionsbeginn vom Schaft entf.	-	ab 0,5 mm	ab 0,3 mm	ab 0,3 mm

Tab. 9 Ergebnisse der Fraktur- und Torsionshäufigkeit und deren Lokalisation bei den MFiles

Nr.	Aufbereit.- System	Fraktur	Elbow	Transport. bei 5 mm	Transport. bei 7 mm	Aufbereit.- länge	Zeit (sek)	Zeit (min)
1	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	221	2,01 - 3,00
2	FlexMaster				transp.	0-2 mm	255	3,01 - 4,00
3	MFile					0-2 mm	178	bis 2,00
4	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	246	3,01 - 4,00
5	FlexMaster					0-2 mm	294	3,01 - 4,00
6	FlexMaster				transp.	0-2 mm	277	3,01 - 4,00
7	MFile	Fraktur						
8	MFile					0-2 mm	156	bis 2,00
9	FlexMaster				transp.	0-2 mm	270	3,01 - 4,00
10	MFile	Fraktur						
11	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	182	2,01 - 3,00
12	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	270	3,01 - 4,00
13	FlexMaster					0-2 mm	241	3,01 - 4,00
14	FlexMaster			transp.	transp.	0-2 mm	260	3,01 - 4,00
15	MFile				transp.	0-2 mm	219	2,01 - 3,00
16	FlexMaster				transp.	0-2 mm	210	2,01 - 3,00
17	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	222	2,01 - 3,00
18	FlexMaster					0-2 mm	243	3,01 - 4,00
19	MFile					0-2 mm	221	2,01 - 3,00
20	FlexMaster				transp.	0-2 mm	239	2,01 - 3,00
21	FlexMaster				transp.	0-2 mm	261	3,01 - 4,00
22	FlexMaster				transp.	0-2 mm	267	3,01 - 4,00
23	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	192	2,01 - 3,00
24	MFile		elbow			0-2 mm	199	2,01 - 3,00
25	MFile					0-2 mm	194	2,01 - 3,00
26	MFile					0-2 mm	166	bis 2,00
27	MFile					0-2 mm	160	bis 2,00
28	MFile	Fraktur						
29	MFile	Fraktur						
30	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	158	bis 2,00
31	FlexMaster				transp.	0-2 mm	253	3,01 - 4,00
32	MFile				transp.	0-2 mm	168	bis 2,00
33	FlexMaster					0-2 mm	284	3,01 - 4,00
34	FlexMaster					0-2 mm	228	2,01 - 3,00
35	MFile		elbow			0-2 mm	189	2,01 - 3,00
36	FlexMaster					0-2 mm	216	2,01 - 3,00
37	MFile				transp.	0-2 mm	200	2,01 - 3,00
38	MFile		elbow			0-2 mm	202	2,01 - 3,00
39	FlexMaster				transp.	0-2 mm	234	2,01 - 3,00
40	FlexMaster				transp.	> 2 mm	275	3,01 - 4,00
41	FlexMaster					0-2 mm	204	2,01 - 3,00
42	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	225	2,01 - 3,00
43	FlexMaster					0-2 mm	244	3,01 - 4,00
44	MFile					0-2 mm	153	bis 2,00
45	MFile					0-2 mm	135	bis 2,00
46	MFile				transp.	0-2 mm	208	2,01 - 3,00
47	FlexMaster				transp.	0-2 mm	227	2,01 - 3,00
48	MFile		elbow			0-2 mm	189	2,01 - 3,00

Tab. 10: Übersicht der Ergebnisse der Probekörper #1 - #48

Nr.	Aufbereit.- System	Fraktur	Elbow	Transport. bei 5 mm	Transport. bei 7 mm	Aufbereit.- länge	Zeit (sek)	Zeit (min)
49	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	226	2,01 - 3,00
50	MFile	Fraktur						
51	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	243	3,01 - 4,00
52	MFile				transp.	0-2 mm	153	bis 2,00
53	FlexMaster				transp.	0-2 mm	250	3,01 - 4,00
54	MFile					0-2 mm	176	bis 2,00
55	FlexMaster				transp.	0-2 mm	224	2,01 - 3,00
56	MFile	Fraktur						
57	MFile					0-2 mm	143	bis 2,00
58	MFile		elbow			0-2 mm	220	2,01 - 3,00
59	FlexMaster		elbow			0-2 mm	261	3,01 - 4,00
60	FlexMaster				transp.	0-2 mm	207	2,01 - 3,00
61	FlexMaster					0-2 mm	258	3,01 - 4,00
62	MFile		elbow			0-2 mm	168	bis 2,00
63	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	199	2,01 - 3,00
64	MFile					0-2 mm	210	2,01 - 3,00
65	MFile					0-2 mm	205	2,01 - 3,00
66	FlexMaster					0-2 mm	250	3,01 - 4,00
67	MFile		elbow			0-2 mm	201	2,01 - 3,00
68	MFile					0-2 mm	183	2,01 - 3,00
69	FlexMaster				transp.	0-2 mm	267	3,01 - 4,00
70	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	332	4,01 - 5,00
71	FlexMaster			transp.	transp.	0-2 mm	253	3,01 - 4,00
72	MFile					0-2 mm	172	bis 2,00
73	MFile				transp.	0-2 mm	192	2,01 - 3,00
74	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	171	bis 2,00
75	FlexMaster					0-2 mm	257	3,01 - 4,00
76	MFile	Fraktur						
77	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	186	2,01 - 3,00
78	MFile		elbow			0-2 mm	233	2,01 - 3,00
79	MFile	Fraktur						
80	MFile		elbow			0-2 mm	149	bis 2,00
81	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	217	2,01 - 3,00
82	MFile	Fraktur						
83	MFile				transp.	0-2 mm	187	2,01 - 3,00
84	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	247	3,01 - 4,00
85	FlexMaster				transp.	0-2 mm	225	2,01 - 3,00
86	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	296	3,01 - 4,00
87	FlexMaster				transp.	0-2 mm	256	3,01 - 4,00
88	MFile	Fraktur						
89	MFile	Fraktur						
90	MFile	Fraktur						
91	MFile					0-2 mm	161	bis 2,00
92	FlexMaster				transp.	0-2 mm	273	3,01 - 4,00
93	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	182	2,01 - 3,00
94	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	258	3,01 - 4,00
95	MFile				transp.	0-2 mm	187	2,01 - 3,00
96	FlexMaster				transp.	0-2 mm	222	2,01 - 3,00

Tab. 11: Übersicht der Ergebnisse der Probekörper #49 - #96

Nr.	Aufbereit.- System	Fraktur	Elbow	Transport. bei 5 mm	Transport. bei 7 mm	Aufbereit.- länge	Zeit (sek)	Zeit (min)
97	FlexMaster				transp.	0-2 mm	222	2,01 - 3,00
98	FlexMaster				transp.	0-2 mm	235	2,01 - 3,00
99	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	284	3,01 - 4,00
100	FlexMaster				transp.	0-2 mm	218	2,01 - 3,00
101	FlexMaster					0-2 mm	232	2,01 - 3,00
102	MFile	Fraktur						
103	FlexMaster				transp.	0-2 mm	223	2,01 - 3,00
104	FlexMaster				transp.	0-2 mm	288	3,01 - 4,00
105	FlexMaster				transp.	0-2 mm	226	2,01 - 3,00
106	FlexMaster				transp.	0-2 mm	290	3,01 - 4,00
107	FlexMaster				transp.	0-2 mm	241	3,01 - 4,00
108	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	206	2,01 - 3,00
109	MFile		elbow			0-2 mm	175	bis 2,00
110	FlexMaster				transp.	0-2 mm	231	2,01 - 3,00
111	MFile				transp.	0-2 mm	221	2,01 - 3,00
112	FlexMaster				transp.	0-2 mm	277	3,01 - 4,00
113	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	177	bis 2,00
114	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	188	2,01 - 3,00
115	MFile				transp.	0-2 mm	208	2,01 - 3,00
116	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	259	3,01 - 4,00
117	FlexMaster				transp.	0-2 mm	231	2,01 - 3,00
118	FlexMaster				transp.	0-2 mm	250	3,01 - 4,00
119	MFile	Fraktur						
120	FlexMaster				transp.	0-2 mm	255	3,01 - 4,00
121	MFile		elbow			0-2 mm	166	bis 2,00
122	FlexMaster				transp.	0-2 mm	257	3,01 - 4,00
123	MFile				transp.	0-2 mm	160	bis 2,00
124	MFile	Fraktur						
125	MFile	Fraktur						
126	FlexMaster				transp.	0-2 mm	264	3,01 - 4,00
127	FlexMaster				transp.	0-2 mm	248	3,01 - 4,00
128	MFile				transp.	0-2 mm	170	bis 2,00
129	MFile		elbow			0-2 mm	159	bis 2,00
130	MFile		elbow		transp.	0-2 mm	144	bis 2,00
131	FlexMaster				transp.	0-2 mm	250	3,01 - 4,00
132	FlexMaster				transp.	0-2 mm	237	2,01 - 3,00
133	FlexMaster				transp.	0-2 mm	230	2,01 - 3,00
134	MFile	Fraktur						
135	FlexMaster				transp.	0-2 mm	289	3,01 - 4,00
136	FlexMaster		elbow		transp.	0-2 mm	255	3,01 - 4,00
137	MFile		elbow			0-2 mm	181	2,01 - 3,00
138	FlexMaster				transp.	> 2 mm	227	2,01 - 3,00
139	FlexMaster				transp.	> 2 mm	285	3,01 - 4,00
140	MFile	Fraktur						

Tab. 12: Übersicht der Ergebnisse der Probekörper #97 - #140

9.5. Erklärung zur Veröffentlichung der Ergebnisse

Im Einvernehmen mit Herrn Prof. Dr. V. Stachniss wurden die Ergebnisse dieser Dissertation bereits vor Abschluss des Promotionsverfahrens an folgenden Stellen veröffentlicht:

1. Powerpointpräsentation und Kurzreferat mit dem Titel: „In-vitro Untersuchung zwei aktueller Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung – FlexMaster vs. MFile“ auf dem Friedrich-Ludwig-Hesse-Symposium im Wettbewerb um den Vivadent-Forschungspreis in Leipzig am 09.10.04
2. D. Sonntag, N. von Abendroth, V. Stachniss: „Wurzelkanalaufbereitung mit Niti-FlexMaster- und M-File-Instrumenten“ in Dtsch Zahnärztl Z, 60, 268-274 (2005) als Originalarbeit.

10. Danksagung

Ich danke allen, die mich während der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Professor Dr. V. Stachniss, Direktor der Abteilung für Zahnerhaltung am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Marburg, für die Überlassung des Dissertationsthemas, seine Unterstützung während des Arbeitsprozesses und der Erstellung des Manuskriptes.

Besonders danken möchte ich Herrn OA Dr. D. Sonntag für seine unermüdliche Hilfsbereitschaft bei der Fertigstellung dieser Arbeit. Seine Geduld und Motivation waren für mich ausschlaggebende Stützen während des Arbeitsprozesses.

Danken möchte ich besonders auch Herrn Dr. T. Schünemann, der mir durch das Entgegenkommen in meiner Arbeitszeitgestaltung den nötigen Spielraum während der Fertigstellung dieser Arbeit gab.

Danken will ich auch Herrn A. Riebe, der mir durch seine Ratschläge wichtige Impulse zur Gestaltung meiner finalen Zeitplanung gab.

Ich danke meinen lieben Eltern, die mich, wo es möglich war, unterstützten und die mir immer eine wichtige Stütze bleiben werden.

11. Akademische Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren
Universitäts-Professoren und Dozenten:

Aumüller, Austermann, Barth, Basler, Çetin, Czubayko, Dalchow, Daut,
Dibbets, Feuser, Flores de Jacoby, Folz, Gente, Geus, Gudermann, Hasilik,
Höffken, Koolman, Lehmann, Lemke, Lill, Löffler, Lohoff, Lotzmann, Mandrek,
Mengel, Mittag, Mutters, Neumüller, Pieper, Plant, Radsak, Ramaswamy,
Röhm, Seitz, Stachniss, Steininger, Stelzel, Stiletto, Stoll, Teymoortasch,
Umstadt, Voigt, Weihe, Werner.